



Metodologia de análise do balanço energético de culturas agrícolas

A colza como caso de estudo

Ana Cristina Barrento Navalho

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientador: Doutor Olívio Godinho Patrício

Júri:

Presidente: - Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Vogais: - Doutor António Nogueira Lopes Aleixo, Professor Associado Convidado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

- Doutora Maria Suzana Leitão Ferreira Dias Vicente, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

- Doutor Olívio Godinho Patrício, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Lisboa, 2010

AGRADECIMENTOS

Ao professor Olívio Patrício pelo seu incansável auxílio, pelo apoio e pela amizade que me demonstrou e por ser um professor digno desse nome, o meu sincero obrigado.

Aos meus pais pela ternura que me têm e por sempre terem acreditado e sempre me terem incentivado a seguir em frente.

Ao Nuno por ter decidido partilhar a sua vida comigo e por toda a compreensão e carinho com que me apoia.

Ao meu tio Miro por ser a pessoa mais bondosa que conheço e pela amizade e afecto que me tem.

Ao meu tio Francisco pela sua amizade e por estar sempre disponível para me prestar o seu apoio.

Ao Luís Neto por ser um amigo sincero.

À Mafalda Vicente por ser minha amiga desde sempre e pela cumplicidade que nos une, apesar da distância.

À Mafalda Torres por me ter apoiado numa época especialmente difícil.

À minha companheira de "luta" Ana Teresa Silva por me encorajar sempre.

Aos meus saudosos avós Manuel, Florinda, José e Aurora por terem sido meus avós.

Ao meu saudoso primo João Barrento por ter sido uma pessoa muito especial na minha vida e cuja ausência é muito sentida.

A todos, o meu muito obrigado, por fazerem ou terem feito parte da minha vida, tornando-a muito melhor.

RESUMO

A produção de biocombustíveis envolve o consumo de energia de origem fóssil. Como o principal objectivo subjacente é a obtenção de uma fonte de energia, cuja utilização apresente menos impactos negativos em termos ambientais, o estudo de indicadores energéticos reveste-se de extrema importância, porque nos permite inferir se a sua existência é viável pelo menos da perspectiva energética. A introdução desta forma de energia alternativa tem repercussões a todos os níveis da sociedade, desde o económico ao político, passando pelo humano.

Para o estudo dos indicadores energéticos apresentou-se um quadro conceptual que permite identificar e quantificar os diferentes parâmetros que constituem as entradas e as saídas de energia do sistema produtivo de uma cultura.

Pretende-se que o modelo proposto proporcione a base para uma utilização generalista, em que o utilizador apenas tem que introduzir os dados específicos respeitantes à cultura que pretende avaliar. Neste trabalho procedeu-se à apresentação da cultura da colza, produzida num sistema convencional e em regime de sequeiro, como caso de estudo para ilustrar o modelo referido.

Palavras - chave: Balanço Energético; Biodiesel; Biomassa; *Brassica napus* L.; Culturas Energéticas; Energia Renovável

ABSTRACT

Biofuels production involves the consumption of fossil energy. As the main underlying objective is to employ an energy source with less negative environmental impacts, the study of energy indicators is of utmost importance, since it allows us to deduce if it's feasible at least from the energetic perspective, because the introduction of this form of alternative energy has effects at all levels of society, from economic to political, through social grounds.

For the study of energy indicators we have presented a conceptual framework that allows us to identify and quantify the various parameters that are the inputs and the outputs of energy from the system.

The main goal of the proposed model is to provide a basis for general use, where the user only has to enter specific data concerning the culture he wants to rate.

To illustrate the quoted model, we have proceeded to the introduction of one specific culture, the rapeseed, produced in a conventional system and rain fed, as a case study.

Key - words: Biodiesel; Biomass; *Brassica napus* L.; Energy Balance; Energy Crops; Renewable Energy

EXTENDED ABSTRACT

Adverse environmental effects of the use of fossil fuels are known nevertheless, energy demands are expected to continue increasing with global improvements in living standards and the growth of industrial activities in China, India and other developing countries.

If so, the continued utilization of fossil fuels as a dominant energy source is not consistent with the long-term sustainability of our environment.

There are also political and economic constraints from the use of fossil fuels. As known the current oil reserves are not equally distributed across the globe, and are centered on politically unstable areas, allowing an unpredictable fluctuation in the prices, with consequences for the countries that are not energetic independent.

These are some of the questions that made a powerful impact to the need for diversification of the energy sources.

This is the context where renewable energy emerges. By definition renewable energy present a short cycle of energy, which means, can be restored in a short and medium term at a human scale. The sun, wind, water, geothermal and biomass are examples of renewable energy.

This study falls on energy crops that are a potential source of biomass for biofuel production. Despite the environmental benefits arising from the use of biofuel, the introduction of energy crops raises some concerns, as the possibility of using agricultural aggressive techniques, such as monoculture with consequent reduction of ecological diversity and the destruction of natural ecosystems.

More precisely this study focuses an oil crop, the rapeseed, from which it is possible to obtain a specific type of biofuel, the biodiesel.

Despite the fact that sunflower is the oil crop traditionally grown in Portugal, we decided to introduce a culture that, although is little known in our country, is of some interest due several characteristics.

Rape (*Brassica napus* L.) is an herbaceous annual plant which originated from the Mediterranean region. It is a member of the *Cruciferae* family and as both winter and spring forms. The content in seed oil is very interesting averaging approximately 50 %. It is a culture that well tolerates soil salinity (8 to 12 dS.m⁻¹) and pH values between 5,5 and 8,0.

Biofuel production requires energy which is mostly from fossil sources. Neto (2001) points that 80 % of all energy needed to produce biodiesel from rapeseed oil is spent on crop production, whereas 20 % is spent in the industrial transformation process.

Therefore, the use of a culture for fuel production is only practicable if the amount of extractable energy (output) exceeds the energy (often non-renewable origin) spent in the process. The extractable energy corresponds to the energy that is embodied in the biofuel and that is released during combustion.

So it is extremely important to define energy indicators based on the inputs and outputs, which allow us to conclude about the potential of the culture for biofuel production. The indicators presented were the energy efficiency, energy ratio and energy balance. These inputs and outputs are obtained by the relation between quantities of factor used and the energy coefficients collected in literature. The quantity of factor is a information that should be collected from the farmer and is specific for the agricultural season.

Energy required by agriculture consists of two distinct categories: direct energy and indirect energy. Direct energy includes that energy consumed directly in the production process (electricity, diesel fuel...). Indirect energy includes that energy consumed in the production of agricultural inputs, such as seeds, fertilizers and chemicals.

In this paper is introduced a conceptual framework for the identification and analysis of the inputs and outputs.

For meaningful comparisons it is essential to have a single, uniform unit of measurement, in this energetic study that unit is MegaJoule per hectare ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$).

The proposed model main goal is to provide a basis for general use, where the user only has to enter specific data concerning the culture he wants to rate.

ÍNDICE

Índice de quadros	I
Índice de figuras	II
1.Introdução	1
1.1 Enquadramento legislativo	2
1.2 Viabilidade do sector dos biocombustíveis	5
1.3 Objectivos	8
2. Revisão bibliográfica	9
2.1 Principais fontes de energia primária	9
2.2 Fonte de energia renovável - A biomassa	9
2.2.1 Fotossíntese e biomassa vegetal	10
2.3 Fontes de biomassa	11
2.4 Biocombustíveis líquidos - O biodiesel	14
2.5 Balanço energético de uma cultura - Indicadores energéticos	25
2.5.1 <i>Inputs</i> ou entradas de energia	25
2.5.2 <i>Outputs</i> ou saídas de energia	27
2.5.3 Coeficientes energéticos	27
2.5.4 Metodologia de cálculo dos indicadores energéticos	27

3. Caso de estudo	32
3.1 Introdução	32
3.2 A cultura da colza	33
3.2.1 Aspectos botânicos	33
3.2.2 Características fotossintéticas	34
3.2.3 Composição média da semente de colza	35
3.2.4 Produção Mundial	36
3.2.5 Utilização potencial	36
3.2.6 Variedades de colza	37
3.2.7 Exigências ecológicas	37
3.2.8 Técnicas culturais	38
3.2.9 Produtividades	42
3.2.10 Itinerário técnico	42
3.2.11 Potencial energético da cultura da colza	45
4. Conclusões	57
5. Referências bibliográficas	58
Anexos	
Anexo I - Lista de produtos considerados combustíveis, de acordo com o Decreto-Lei nº 62/2006 de 21 de Março	III
Anexo II - Especificações a que deve obedecer o gasóleo destinado ao mercado interno nacional, de acordo com o Decreto-Lei nº 89/2008	IV
Anexo III - Especificações a que deve obedecer o biodiesel no espaço comunitário de acordo com a norma EN 14214	VI
Anexo IV - Conta de cultura da colza	VII
Anexo V - Boletim de Ensaio do tractor marca Case IH, modelo Maxxum 125X	VIII

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Características físico-químicas do gasóleo e do óleo de colza bruto	15
Quadro 2 - Características físico-químicas do gasóleo e dos ésteres metílicos obtidos a partir do óleo de colza	18
Quadro 3 - <i>Inputs</i> ou entradas de energia na etapa agrícola	26
Quadro 4 - Coeficientes energéticos para os <i>inputs</i> e <i>outputs</i> apresentados	30
Quadro 5 - Composição média da semente de colza	35
Quadro 6 - Composição em ácidos gordos do óleo de colza e do óleo proveniente de variedades melhoradas	35
Quadro 7 - Quantidade de azoto (N), fósforo (P ₂ O ₅) e potássio (K ₂ O) recomendadas em kg.ha ⁻¹	40
Quadro 8 - Correspondência entre níveis e teores do solo em fósforo e potássio expressos em ppm	40
Quadro 9 – Itinerário técnico (adaptado de Lourenço <i>et al.</i> , 2000)	44
Quadro 10 - Energia consumida com combustíveis, lubrificantes, manutenção das máquinas e energia sequestrada nas máquinas	46
Quadro 11 – Energia consumida no fabrico dos factores de produção	47
Quadro 12 – Energia consumida por unidade de área para a simulação 2	50
Quadro 13 – Energia consumida por unidade de área para a simulação 3	51
Quadro 14 - Valores obtidos para os indicadores energéticos nas três situações estudadas	52
Quadro 15 - Resultados obtidos para os indicadores energéticos com aproveitamento da palha	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura esquemática dos diferentes processos para a produção de energia a partir da biomassa	13
Figura 2 - Representação esquemática da reacção de transesterificação	16
Figura 3 - Representação esquemática do protocolo enunciado	23
Figura 4 - Balanço mássico para o éster metílico de colza	54

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho versa em primeira instância sobre algo fundamental na nossa sociedade e na evolução humana: a Energia.

A energia pode ser obtida através de fontes de energias não renováveis ou de fontes de energia renováveis. É sobre esta última que esta tese se debruça, essencialmente sobre uma fonte específica de energia renovável que é a biomassa. Esta pode ser de vários tipos mas o nosso interesse foca-se nas culturas dedicadas à produção de energia (as chamadas culturas energéticas) e dentro destas na cultura de oleaginosas, especificamente na colza, que constitui o nosso caso de estudo e cujo óleo pode ser transformado num biocombustível líquido específico, o biodiesel.

É verdade que o amplo recurso aos combustíveis de origem fóssil trouxe numerosos benefícios às sociedades industrializadas possibilitando o seu desenvolvimento. Permitiu o desenvolvimento da agricultura no pós-guerra, altura em que se apresentava a um preço relativamente baixo e sem limitações em termos de disponibilidade, o que levou a que os sistemas agrícolas se orientassem para uma melhoria da produtividade por unidade de área e por trabalhador, não tendo em linha de conta a eficiência do uso da energia (Coelho, 1987).

Porém o actual consumo de energia, proveniente essencialmente de combustíveis fósseis, e que se prevê aumentar com o desenvolvimento de países densamente povoados como a China e a Índia, não é compatível com o desenvolvimento sustentável do nosso meio ambiente, sendo conhecidos os efeitos adversos no ambiente, do seu uso em larga escala, devido às elevadas emissões de hidrocarbonetos poliaromáticos, de enxofre e de dióxido de carbono que veiculam para a atmosfera.

Para além das questões ambientais, existem questões político-económicas a ter em consideração. Como é do conhecimento geral, as actuais reservas de petróleo não se encontram igualmente distribuídas pelo globo, concentrando-se em zonas politicamente instáveis, o que permite uma grande e imprevisível flutuação nos preços deste bem. É de referir a crise energética de 1973 que para além da elevação pronunciada das cotações do petróleo, impôs interrupções nos abastecimentos e restrições ao consumo (Santos, 1993).

Estes são alguns dos factores que constituíram um poderoso estímulo à necessidade de diversificação das fontes energéticas. É neste contexto que surgem as energias renováveis, como alternativa na obtenção de energia, com vista a reduzir-se as emissões de gases com efeito de estufa e a obter-se uma certa autonomia energética, principalmente por

parte dos países que não possuem reservas de combustíveis fósseis, como é o caso de Portugal que apresenta uma elevada dependência energética do exterior, ilustrada pela importação em 2007 de 82,9 % da energia primária que consumiu (DGGE, 2010).

1.1 ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

O sector dos transportes, para além de ser responsável por uma grande fatia do consumo final de energia, é também uma das principais fontes emissoras de gases com efeito de estufa. De forma a ser possível atingir objectivos, tais como o cumprimento dos acordos relativos às alterações climáticas, a segurança do abastecimento e a promoção das fontes de energias renováveis, tornou-se evidente a necessidade de criação de um pacote de medidas para a promoção da utilização mais intensiva de biocombustíveis nos transportes. Para tal, procedeu-se à transposição da Directiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 8 de Maio [1]. O Decreto-Lei nº 62/2006 de 21 de Março [2] transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva 2003/30/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de Maio.

Nesta Directiva foram estabelecidos objectivos concretos e estipulado que os Estados Membros devem assegurar a colocação nos seus mercados de uma proporção mínima de biocombustíveis designando metas indicativas para o efeito. O valor de referência dessas metas, calculado com base no teor energético, é de 2 % e de 5,75 % de toda a gasolina e de todo o gasóleo utilizado para efeitos de transporte colocados no mercado, até 31 de Dezembro de 2005 e até 31 de Dezembro de 2010, respectivamente. Para além disso, fixou-se como objectivo até 2020, a substituição de 10 % dos combustíveis convencionais por combustíveis alternativos.

De acordo com a Resolução do Conselho de Ministros nº 21/2008, de 5 de Fevereiro [3], a promoção da utilização de biocombustíveis nos transportes representa uma das principais medidas previstas no Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), daí que o Governo tenha decidido aumentar para 10 % o objectivo de incorporação de biocombustíveis nos combustíveis fósseis de 5,75 %, em teor energético, já em 2010.

Através do Decreto-Lei nº 71/2006 de 24 de Março [4] procedeu-se à constituição do Fundo Português de Carbono, previsto pela Resolução do Conselho de Ministros nº 53/2005, de 3 de Março [5], que aprovou o Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão. O Fundo é um instrumento operacional destinado a financiar medidas que facilitem

o cumprimento dos acordos quantificados de limitação de emissões de gases com efeito de estufa a que o Estado Português se comprometeu ao ratificar o Protocolo de Quioto.

O Protocolo de Quioto que se encontra como anexo ao Decreto-Lei nº7/2002 de 25 de Março [6] destina-se a tornar operacional e dar eficácia jurídica aos objectivos da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas. Constitui um passo muito importante, pois contém objectivos vinculativos e qualificativos de limitação do teor dos gases com efeito de estufa em, pelo menos 5 % abaixo dos níveis de 1990. Os seis gases com efeito de estufa, considerados no Protocolo de Quioto são: o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), os hidrofluorcarbonetos (HFCs), os perfluorcarbonetos (PFCs) e o hexafluoreto de enxofre (SF₆).

No quadro da União Europeia e das obrigações atrás enunciadas, Portugal não deve ultrapassar, entre 2008 e 2012 mais do que 27 % da quantidade de dióxido de carbono emitido no ano de referência, 1990. Nesse ano, foram emitidas para a atmosfera 60 milhões de toneladas desse gás (Varela, 2005).

O cumprimento da directiva relativa à promoção da utilização de biocombustíveis nos transportes passa por três cenários diferentes: importação do biocombustível; produção a partir de matérias-primas importadas; produção a partir de matérias-primas nacionais. O terceiro cenário, ao contemplar o uso de recursos endógenos, é o único que apresenta vantagens significativas para a autonomia energética do país e para a diversificação e reforço do desenvolvimento agrícola e rural (Avillez, 2005).

Atendendo ao facto dos custos de produção dos biocombustíveis serem superiores aos custos de produção dos combustíveis de origem fóssil (gasóleo e gasolina) a sua promoção e comercialização só se torna competitiva com a implementação por parte do governo de medidas complementares de apoio público (Avillez, 2005). De entre estas destacam-se:

1. O Regime de Pagamento Único por superfície através da aplicação do Regulamento (CE) nº 1782/2003 do Conselho de 29 de Setembro de 2003 [7], que estabelece regras comuns para os regimes de apoio directo aos agricultores no âmbito de Política Agrícola Comum e que instaurou uma ajuda específica às culturas energéticas, no montante de 45 € por hectare semeado. Nas superfícies objecto de ajuda pode ser cultivada qualquer matéria-prima agrícola, à excepção de cânhamo, cujo destino principal seja a produção de um dos seguintes produtos energéticos: produtos considerados biocombustíveis indicados na Directiva 2003/30/CE (Anexo I); e, energia eléctrica e térmica produzida a partir de biomassa.

Para o efeito, foi estabelecida uma Superfície Máxima Garantida para a União Europeia de 1 500 000 hectares à qual pode ser concedida a ajuda. Esta é concedida apenas em relação às superfícies cuja produção seja objecto de um contrato entre o agricultor e um transformador, excepto nos casos em que a transformação se dê na exploração [7].

De acordo com os dados relativos ao ano de 2009 do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (MADRP, 2010), procedeu-se ao pagamento de 17,96 milhares de euros (os montantes a conceder são reduzidos em 7 % por via de uma taxa de modulação obrigatória) referentes a uma área de 426,13 ha, toda ela localizada na região agrária do Alentejo.

Em 2009 surge o Regulamento (CE) nº 73/2009 do Conselho de 19 de Janeiro [8], que revoga o Regulamento [7] atrás referido, contudo o capítulo referente ao apoio específico para as culturas energéticas continua a aplicar-se no que se refere a esse ano. Todavia é deixada a advertência que dada a recente evolução no sector da bioenergia, nomeadamente a forte procura de tais produtos nos mercados internacionais e a introdução de objectivos vinculativos nos combustíveis totais até 2020, já não haverá motivo para conceder esse apoio no futuro;

2. Os apoios ao investimento na instalação de novas unidades de produção;

3. A isenção, total ou parcial, de pagamento de ISP (imposto sobre produtos petrolíferos e energéticos), relativamente aos biocombustíveis produzidos em território nacional, surgindo neste contexto o artigo 71.º-A aditado ao Código dos Impostos Especiais de Consumo pelo Decreto-Lei nº 66/2006, de 22 Março [9], que consagra uma isenção para os biocombustíveis substitutos do gasóleo, estabelecendo que o valor da isenção é fixado por portaria, entre o limite mínimo de 280 € e o máximo de 300 €, por cada 1000 litros. Este valor é definido em função dos preços dos biocombustíveis ou das suas matérias-primas e dos combustíveis fósseis que pretendem substituir, de forma a não conduzir a uma sobrecompensação dos custos adicionais associados à produção de biocombustíveis.

O total da quantidade a isentar em cada ano não deverá exceder determinado limite, fixado em 340 milhões de litros para 2009 e 360 milhões de litros para 2010, relativamente aos biocombustíveis substitutos do gasóleo, de acordo com a Portaria nº 1554-A/2007 de 7 de Dezembro [10].

1.2 VIABILIDADE DO SECTOR DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

As culturas energéticas constituem uma possível fonte de biomassa para a produção de biocombustíveis, porém a sua viabilidade apenas fará sentido se forem garantidamente sustentáveis, ou seja, se possibilitarem um balanço energético e ambiental positivo.

Em seguida proceder-se-á à enumeração de algumas constatações relativas a esta questão.

Os pré-requisitos para a aceitação das culturas para fins energéticos nos sistemas regionais e tradicionais de produção agrícola são: a diversificação das actividades económicas em meio rural, contribuindo para a criação de oportunidades de emprego; a possibilidade de uso de terrenos marginais e a rentabilidade económica face às culturas alimentares convencionais (Staiss & Pereira, 2002).

O uso de biocombustíveis funciona como um motor de desenvolvimento económico, social e tecnológico, contribuindo para garantir um preço estável da energia, menos sensível às flutuações do mercado dos combustíveis fósseis, contribuindo para diminuir a dependência energética face ao exterior e promovendo o desenvolvimento regional através da criação de fileiras agrícolas nacionais, da criação de empregos e da criação de centros tecnológicos de investigação (Ferreira, 2007). Ainda de acordo com este autor, prevê-se relativamente ao sector dos biocombustíveis, para o período de 2008 a 2012, um investimento de aproximadamente 3 milhões de euros com a criação de 300 postos de empregos directos (aplicável às unidades fabris de transformação) e uma redução de 2,3 milhões de toneladas de dióxido de carbono.

No entanto, a introdução destas culturas levanta alguns receios, como a oportunidade de recurso a técnicas agrícolas agressivas para o ambiente, como a monocultura com consequente diminuição da diversidade ecológica e destruição de ecossistemas naturais (Staiss & Pereira, 2002).

Para além disso, a produção em grande escala de biocombustíveis pode levar à utilização acrescida de adubos e pesticidas (Anónimo, 2006) com consequentes efeitos na disponibilidade e qualidade da água e pressão acrescida nas zonas ecosensíveis, com a possibilidade de grandes extensões de floresta virgem poderem ser convertidas para este fim.

Numa tentativa de minorar estes receios, é imperativo a criação de um sistema de certificação da produção, contendo informações sobre o tipo de práticas culturais, o tipo de solos utilizados e o balanço energético das culturas, de forma a garantir a sustentabilidade

da produção, evitando-se a destruição de espécies e habitats e a produção com balanços energéticos inadequados (Paulino, 2007).

Anteriormente à Reforma Intercalar da Política Agrícola Comum (PAC), que teve lugar em 2003, a produção de matérias-primas dirigidas ao fabrico de produtos não destinados directamente ao consumo humano, tinha obrigatoriamente que ser obtida em terras de pousio, situação que deixou de se verificar com a possibilidade das culturas energéticas serem cultivadas em concorrência directa com as culturas destinadas a fins alimentares (Viana, 2003). Estamos perante uma questão de conflito no uso do solo, já que a terra (recurso limitado) que nos permite produzir a biomassa para fins energéticos é a mesma que nos fornece alimentos, biomassa para fins não energéticos e serviços dos ecossistemas, tais como, a água, a biodiversidade e o sequestro de carbono

De um modo geral, as emissões de dióxido de carbono resultantes da fase de utilização dos biocombustíveis são bastantes mais favoráveis do que as do gasóleo que substitui, no entanto, ao nível da produção da biomassa que lhe dá origem pode haver condições menos favoráveis.

Mae-Wan Ho (2006) alerta para o facto de o saldo energético nem sempre ser positivo e de se promover um falso sistema de contabilidade energética que não equaciona todos os gastos energéticos e as emissões de dióxido de carbono associadas ao uso de combustíveis fósseis na produção, transformação e transporte dos biocombustíveis e da biomassa que os origina. Esta situação será ainda mais agravada quando os biocombustíveis ou a matéria-prima forem importados de países terceiros, nos quais são contabilizadas as emissões de dióxido de carbono, permitindo aos países exportadores a redução da sua quota-parte das emissões deste gás. Porém, a nível global, as emissões ocorreram e os seus impactos vão surgir, independentemente da zona onde tiveram origem.

Impactos ambientais da utilização do biodiesel como combustível, em comparação com o gasóleo (Clark *et al.*, 1984; Mittelbach e Tritthart, 1988; Chang *et al.*, 1996; Vermeersch, 1996; Vieira, 1997):

- Manutenção do teor de dióxido de carbono na atmosfera, uma vez que, a quantidade de dióxido de carbono libertado aquando da combustão do biocombustível seria a mesma absorvida durante o processo fotossintético que presidiu à formação da biomassa utilizada na produção desse combustível, ocorrendo um ciclo quase fechado com saldo neutro (Gominho & Pereira, 2008), ou seja, a emissão de dióxido de carbono decorrente da combustão é compensada pelo seu sequestro aquando da produção da biomassa;

- Ausência de emissões de dióxido de enxofre (os ésteres metílicos não contêm enxofre), a emissão deste composto para a atmosfera constitui uma das causas responsáveis pelas chuvas ácidas;
- Menores emissões de monóxido de carbono e de hidrocarbonetos, devido ao maior teor em oxigénio dos ésteres metílicos dos ácidos gordos, o que favorece a combustão completa destes compostos;
- Ausência de emissões de compostos aromáticos (ausentes na composição do biodiesel).

Existem algumas alternativas com vista a reduzir os efeitos negativos que possam advir da produção de biomassa para transformação em biocombustível, tais como:

- O recurso a biocombustíveis de segunda geração, cuja principal matéria-prima é a biomassa celulósica proveniente de resíduos vegetais, industriais, urbanos ou mesmo resíduos de efluentes. Os processos de transformação diferem dos tradicionais que permitem a obtenção dos biocombustíveis de primeira geração e incluem catálise enzimática, gasificação, hidrotratamento e a hidrólise ácida (Anónimo, 2008).
- O recurso a óleos alimentares usados, cuja utilização para fins energéticos apresenta a grande vantagem de se poder evitar o seu despejo em aterros sanitários ou a descarga nos esgotos, para além de constituírem matéria-prima de baixo custo.
- O recurso a microalgas que devido à elevada produção de óleo que facultam, se revelam bastante promissoras. Gomes (2006) aponta como vantagens comparativamente às plantas superiores, a sua maior eficiência fotossintética que se traduz numa maior produtividade em termos de biomassa, podendo atingir, em certas condições e com a adição de dióxido de carbono às $160 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (peso seco), o que representa $50 \text{ a } 130 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (peso seco). Para além disso, podem funcionar como "sumidouros" de dióxido de carbono, proveniente de unidades industriais, uma vez que, este gás permite um aumento da sua produtividade e do seu conteúdo relativo em ácidos gordos. O autor citado refere que as instalações tipo consistem em lagoas de baixa profundidade em que as algas são movimentadas em circuito fechado através de um agitador de pás, podendo recorrer-se a águas de baixa qualidade e ao aproveitamento de águas residuais que podem ser adicionadas às lagoas de forma a suprir necessidades nutritivas em certos elementos como o azoto. Miyamoto (1997), menciona os custos de colheita e transporte relativamente baixos, como vantagem associada à sua produção.

1.3 OBJECTIVOS

No âmbito deste trabalho, iremos começar por apresentar a regulamentação e legislação que enquadra o sector dos biocombustíveis. Em seguida, proceder-se-á a uma breve discussão sobre os impactos positivos e negativos associados a esta temática.

Num segundo capítulo de revisão bibliográfica começa-se por contextualizar a energia da biomassa como energia renovável e as culturas energéticas como fonte de biomassa. Numa segunda parte apresenta-se um protocolo possível para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais brutos por transesterificação. Este capítulo é finalizado pela apresentação de uma metodologia que nos permite calcular indicadores energéticos e inferir sobre a viabilidade de uma cultura para a produção de biocombustíveis. Pretende-se que o modelo proposto proporcione a base para uma utilização generalista, em que o utilizador apenas tem que introduzir os dados específicos respeitantes à cultura que pretende avaliar.

Posteriormente no terceiro capítulo procede-se à apresentação da cultura da colza (*Brassica napus* L.) e das razões que levaram a elegê-la como o caso de estudo deste trabalho. Salientaram-se os aspectos botânicos, as exigências ecológicas e as técnicas culturais. Numa segunda parte destacou-se um possível itinerário técnico em regime de sequeiro para a sua produção. Por fim, realizou-se um pequeno exercício de aplicação ao itinerário técnico apresentado, do modelo proposto no segundo capítulo.

Para tal procedeu-se à simulação do balanço energético e ao cálculo da eficiência energética para uma produtividade de 1500 kg.ha⁻¹. Esta é a produtividade máxima apontada por Guerrero (1999) para o regime de sequeiro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PRINCIPAIS FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA

As fontes de energia primária podem ser divididas em dois grupos, com base no ciclo da energia (desde a sua origem na natureza, passando pelo seu processamento até ao consumo final, recomeçando na sua regeneração ou reposição) e na disponibilidade com que se apresentam na natureza. Temos, assim dois tipos de energias:

Energias renováveis - inesgotáveis ou que podem ser repostas no curto e médio prazo, à escala humana. Apresentam um ciclo de energia curto (sol, vento, água, biomassa, geotermia).

Energias não renováveis - não podem ser repostas no curto ou médio prazo, à escala humana. Apresentam um ciclo de energia longo (petróleo, carvão, gás natural e combustíveis nucleares) (Patrício, 2007).

2.2 FONTE DE ENERGIA RENOVÁVEL - A BIOMASSA

O Decreto-Lei nº 62/2006 de 21 de Março [2], relativo à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes, define biomassa como a fracção biodegradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

Podemos considerar como resíduos, a madeira proveniente de desbastes e abates florestais, a palha dos cereais e outros resíduos das culturas. Como resíduos industriais e urbanos temos os resíduos de serrações, os estrumes, as lamas residuais, a fracção orgânica de lixos municipais e os óleos vegetais e gorduras usadas.

A possibilidade de utilização energética da biomassa é muito vasta e estende-se desde biocombustíveis sólidos para a combustão directa, gasificação ou pirólise até biocombustíveis líquidos como o biodiesel e o bioetanol passando pelos combustíveis gasosos como o biogás (Delgado, 2002).

De acordo com Delgado (2002) a transformação da biomassa origina diferentes tipos de energia. Desta forma, pode ser produzida:

1. Energia térmica - obtida por métodos termoquímicos, como a combustão directa, a pirólise ou gasificação da biomassa;
2. Energia eléctrica - obtida por métodos biológicos e métodos termoquímicos, como a combustão directa, a pirólise e a gasificação. Os métodos biológicos mais comuns são a fermentação alcoólica para a produção de etanol e a digestão anaeróbia para a produção de metano;
3. Energia mecânica - resulta da transformação da energia química existente nos biocombustíveis.

2.2.1 Fotossíntese e biomassa vegetal

A biomassa vegetal é formada durante o processo fotossintético pela combinação de dióxido de carbono da atmosfera e água, produzindo-se hidratos de carbono.



Estes hidratos de carbono são utilizados na síntese de glúcidos, óleos, amidos, celulose, lenhina, ou seja, a energia solar é armazenada nas ligações químicas dos componentes estruturais da biomassa.

A energia que é possível produzir a partir da cultura provém da conversão fotossintética da energia solar em energia química.

A produtividade de uma cultura, ou seja, a quantidade de biomassa que é produzida por unidade de área, é condicionada pelos seguintes factores: genótipo; factores ambientais (precipitação, temperatura, solo); factores culturais (fertilização, rega, mecanização) e eficiência fotossintética.

Para culturas que se desenvolvem em boas condições agronómicas, a quantidade de biomassa acumulada está fortemente correlacionada com a radiação interceptada pelo coberto vegetal. Neste caso, e dado que o coeficiente de conversão da radiação interceptada em matéria seca, tem um valor regionalmente conservativo, pode-se afirmar que a variável que primariamente determina a produção de uma dada cultura em todas as fases do desenvolvimento é a quantidade de radiação solar por ela interceptada. O

coeficiente de conversão da radiação interceptada exprime a eficiência da utilização da radiação solar na produção de biomassa (Russel *et al.*, 1990).

Concluindo, qualquer análise sobre a produção de energia a partir de biomassa tem que contemplar a eficiência do processo fotossintético. Apenas a luz com comprimentos de onda entre os 400 e os 700 nm, a designada radiação PAR (radiação fotossinteticamente activa) é utilizada pelas plantas, deste modo, apenas 45 % do total de energia solar que atinge o coberto vegetal é empregue no processo. Para além disso, a fixação de uma molécula de dióxido de carbono, durante a fotossíntese, requer dez ou mais *quanta*, o que resulta numa utilização máxima de apenas 25 % da PAR absorvida pelo sistema fotossintético. Com base nas limitações atrás enunciadas, a eficiência máxima teórica de conversão da energia solar é de aproximadamente 11 %. Porém, na prática, verifica-se que este valor é ainda mais reduzido, devido a factores como a deficiente absorção da luz solar que é reflectida e os requisitos respiratórios do processo. Deste modo, a eficiência global da fotossíntese incide sobre 3 a 6 % da radiação solar total que atravessa a atmosfera terrestre (Kazuhisa, 1997).

2.3 FONTES DE BIOMASSA

O espectro de aproveitamento energético da biomassa para a produção de energia térmica, mecânica ou eléctrica é muito vasto e estende-se desde biocombustíveis sólidos para a combustão directa ou gaseificação a biocombustíveis líquidos como o biodiesel e o bioetanol até biocombustíveis gasosos como o biogás ou o gás de síntese, como é possível constatar na Figura 1 (página 13). Esta figura ilustra os diferentes processos usados para obter energia a partir da biomassa (Staiss & Pereira, 2001).

Como principais fontes de biomassa podemos referir:

As **plantas energéticas**, tais como as espécies arbóreas de rápido crescimento e curta rotação (e.g. choupo, salgueiro) e as culturas agrícolas. Estas últimas podem ser agrupadas da seguinte forma:

- Espécies ricas em sacarose (oligossacárido), como o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*), a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e a beterraba sacarina (*Beta vulgaris*) que permitem a produção de biocombustíveis (bioetanol) por fermentação directa dos glúcidos;

- Espécies ricas em amido (polissacárido) como o milho (*Zea mays*), o trigo (*Triticum aestivum*) e a batata (*Solanum tuberosum*), transformável em glúcidos fermentescíveis por hidrólise, possibilitando a produção de biocombustíveis (bioetanol);
- Espécies ricas em biomassa lenhocelulósica cuja celulose (polissacárido) pode ser degradada em açúcares fermentescíveis, para produção de biocombustível (bioetanol), como o *Miscanthus* spp. e o cardo (*Cynara cardunculus*);
- Espécies ricas em óleo como o girassol (*Helianthus annuus*), a soja (*Glycine max*), e a colza (*Brassica napus* L.), que permitem a obtenção de biocombustível (biodiesel) pelo processo de transesterificação.

Os **resíduos agrícolas e florestais**, tais como a madeira de desbastes e abates florestais e os resíduos de culturas agrícolas, como a palha.

Os **resíduos orgânicos industriais e domésticos**, dentro destes pode-se indicar os resíduos de serrações, os estrumes, as lamas residuais, a fracção orgânica de lixos municipais e os óleos vegetais e gorduras usadas.

Vários autores referem que as culturas dedicadas para a produção de energia deveriam idealmente cumprir os seguintes requisitos (El Bassam, 1996; Staiss & Pereira, 2001; Fernando, 2007):

- Níveis de produtividade em biomassa elevada com baixos custos de produção;
- Possibilidade de se desenvolverem em solos marginais;
- Permitirem a utilização de equipamento agrícola já utilizado pelos agricultores para outras culturas;
- Rendimento energético favorável por unidade de área;
- Maneio extensivo não prejudicando o meio ambiente com respeito ao cultivo do solo, adubação e defesa fitossanitária.

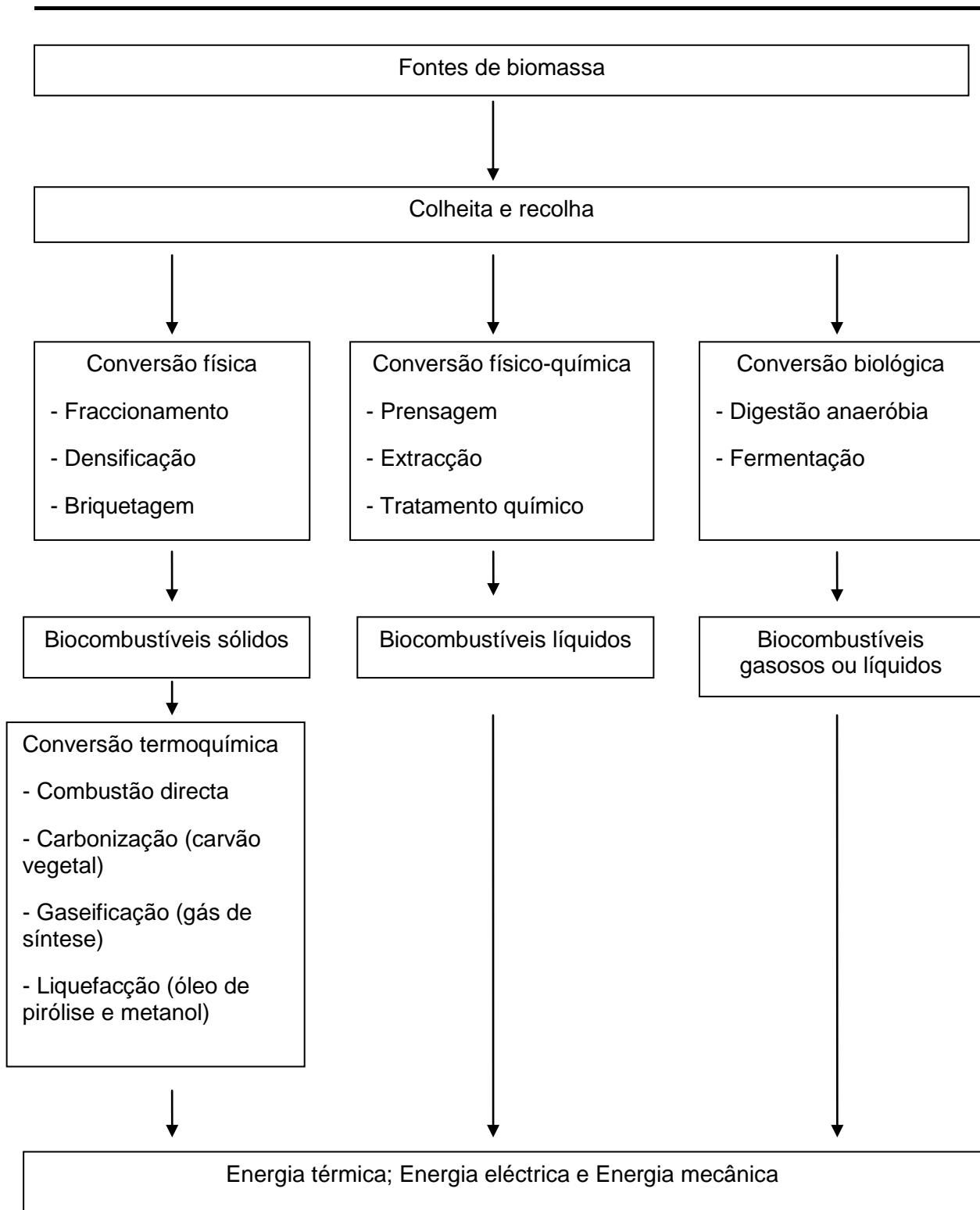


Figura 1 – Estrutura esquemática dos diferentes processos para a produção de energia a partir da biomassa

2.4 BIOCOMBUSTÍVEIS LÍQUIDOS - O BIODIESEL

O Decreto-Lei nº 62/2006 de 21 de Março [2] define biocombustível como o combustível líquido ou gasoso para transportes e identifica dez tipos diferentes de produtos que podem ser considerados como tal. A sua lista extensiva encontra-se em anexo (Anexo I), optando-se aqui por desenvolver o assunto relativo ao biodiesel, visto ser este o biocombustível possível de se obter através da matéria-prima energética que constitui o nosso caso de estudo, a colza. No âmbito do Decreto-Lei assinalado, o biodiesel é descrito como o éster metílico produzido a partir de óleos vegetais ou animais, com qualidade de combustível para motores diesel.

De acordo com o European Biodiesel Board (EBB, 2010), os cinco principais países europeus produtores de biodiesel, no ano de 2009, foram a Alemanha (2,5 Mt), a França (1,9 Mt), a Espanha (0,9 Mt), a Itália (0,7 Mt) e a Bélgica (0,4 Mt). Portugal posicionou-se em nono lugar com uma produção de 0,25 Mt.

Os motores existentes conseguem adaptar-se sem problemas a misturas de 5 a 10 % de biodiesel no gasóleo (Anónimo, 2008). Contudo, a Resolução do Conselho de Ministros nº21/2008 [3] impõe um limite de 5 %, em volume, para esta incorporação devido a imperativos de ordem técnica, em particular a norma EN 590. É de referir que esta se encontra em revisão, com vista a permitir maiores incorporações, possivelmente já após 2010 e que alguns construtores automóveis estão a adaptar os seus motores, de modo, a permitir a incorporação de maiores percentagens de biocombustíveis, podendo mesmo atingir os 100 % em alguns veículos.

O biodiesel pode ser obtido a partir de matérias-primas como o óleo alimentar usado, o óleo bruto produzido por microalgas e o óleo vegetal bruto proveniente de culturas oleaginosas. Esta última opção vai constituir o objecto de estudo ao longo deste subcapítulo, particularizando sempre que possível o caso do óleo de colza.

De acordo com Vermeersch (1996), o uso de óleos vegetais brutos, como combustível nos motores diesel é limitado, devido à elevada viscosidade e baixa capacidade de inflamação que apresentam, o que origina depósitos de carbono principalmente na câmara de combustão e na extremidade do injector, para além do entupimento dos filtros e tubagens devido às gomas, ceras e mucilagens que contêm.

Os óleos vegetais brutos apresentam características físico-químicas muito diferentes do combustível tradicionalmente utilizado nos motores Diesel - o gasóleo, especialmente no que se refere à viscosidade e ao índice de cetano. As especificações a que deve obedecer o

gasóleo destinado ao mercado interno nacional encontram-se discriminadas no Decreto-Lei nº 89/2008 [11], cuja consulta pode ser efectuada em anexo (Anexo II).

O óleo de colza ilustra essa situação, como se pode constatar pelo Quadro 1:

Quadro 1 - Características físico-químicas do gasóleo e do óleo de colza bruto:

Característica	Gasóleo	Óleo de colza bruto
Massa volúmica a 20° C (kg.L^{-1})	0,845	0,916
Viscosidade cinemática a 20°C ($\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$)	2,5 - 5,5	77
Índice de cetano	48 - 50	32 - 36

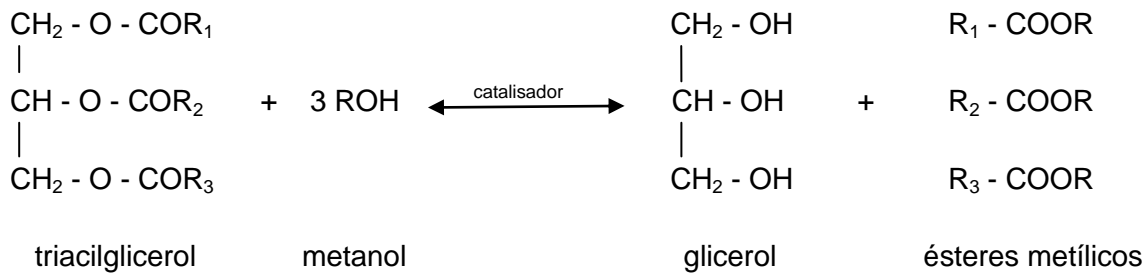
Fonte: Institut Français des Huiles Vegetables Pures (2010)

Para que se possa utilizar este recurso, existem duas opções possíveis, a adaptação dos motores ou a modificação química dos óleos, de modo, a obter um produto compatível com os motores existentes. É para esta segunda solução que o trabalho se orienta em seguida.

O processo de transesterificação é aquele a que mais vulgarmente se recorre para a obtenção a partir dos óleos vegetais brutos, de um produto bem definido e com características físico-químicas mais próxima das do gasóleo que pretende incorporar - o biodiesel.

O processo de transesterificação foi descrito e patenteado por Bradshaw e Meuly em 1942. A grande inovação deste método foi permitir a produção de ésteres metílicos de ácidos gordos (biodiesel) directamente de gorduras e óleos vegetais sem necessidade de recorrer à intervenção da hidrólise.

Este processo, ilustrado na Figura 2, consiste na reacção de uma gordura ou de um óleo (compostos maioritariamente por triacilgliceróis) com um álcool (geralmente o metanol) para formar ésteres metílicos e glicerol. Em geral, é utilizado um catalisador para aumentar a velocidade da reacção (Ma & Hanna, 1999).



R₁, R₂ e R₃ representam os radicais dos ácidos gordos

Figura 2 - Representação esquemática da reacção de transesterificação

Como em qualquer reacção química, existem factores que afectam o rendimento da mesma, no caso da transesterificação, essas variáveis são a qualidade do óleo, o tipo de catalisador, o tipo de álcool e a razão molar álcool:óleo e a temperatura e tempo de reacção.

É assim importante adquirir algum conhecimento sobre a forma como estes factores afectam a reacção:

1. Qualidade do óleo

Relativamente a este ponto há a considerar o teor de ácidos gordos livres e o teor de humidade do óleo em bruto. Quanto mais elevada é a acidez do óleo e maior o teor em ácidos gordos livres, mais baixa se torna a eficiência da reacção, pois os ácidos gordos livres vão reagir com o catalisador neutralizando-o e ocorrendo a formação de sabões (Freedman *et al.*, 1984). Para que tal não aconteça, pretende-se um óleo com uma acidez baixa, inferior a 2% (Parmentier, 1996). Se tal não ocorrer, o óleo deve ser previamente refinado, de forma, a neutralizar-se os ácidos gordos livres, o que acrescenta custos ao processo, tornando-o mais moroso e dispendioso (Freedman *et al.*, 1984). O teor de humidade também interfere negativamente na reacção e na actividade do catalisador, devendo-se exigir que este valor seja inferior a 0,3 % (Freedman *et al.*, 1984).

2. Tipo de catalisador

Quando se utilizam catalisadores alcalinos, a reacção de interesterificação ocorre a uma temperatura mais baixa e a velocidade mais elevada, obtendo-se maiores graus de conversão em ésteres, do que em presença de catalisadores ácidos (Sonntag, 1982). Os catalisadores podem ser classificados com ácidos, básicos, enzimáticos (lipases) ou mistos. Os catalisadores ácidos mais comuns são o ácido sulfúrico (H_2SO_4), o ácido fosfórico (H_3PO_4) e o ácido clorídrico (HCl). Relativamente aos catalisadores básicos os mais utilizados são o hidróxido de sódio (NaOH) e o hidróxido de potássio (KOH). Ma e Hanna (1999) referem que os catalisadores básicos são mais eficazes e económicos.

3. Tipo de álcool e razão molar álcool: óleo

Teoricamente, a razão estequiométrica seria de uma mole de óleo para três moles de álcool. Na prática, adiciona-se álcool em excesso para favorecer a reacção no sentido da formação de ésteres. Verifica-se, porém, que o álcool em excesso, a partir de determinado valor, dificulta a separação gravitacional do glicerol com perda de rendimento da reacção, conduzindo a acréscimos de custos (Freedman *et al.*, 1984; Parmentier, 1996). Relativamente ao álcool, o metanol é o eleito pois, apresenta menores custos e maiores rendimentos.

4. Temperatura e tempo de reacção

A temperatura óptima, ou seja, aquela que maximiza o rendimento em ésteres, depende do tipo de óleo, do tipo de álcool e do catalisador utilizados. A transesterificação é normalmente efectuada a temperaturas próximas do ponto de ebulição do álcool e as taxas de conversão, geralmente aumentam com o tempo de reacção. Porém, os ganhos em rendimento nem sempre justificam o prolongamento do tempo de reacção (Freedman *et al.*, 1984).

Com a reacção de transesterificação, uma molécula de triacilglicerol de estrutura ramificada origina três moléculas de ésteres metílicos de estrutura linear com muito mais semelhanças com as moléculas dos hidrocarbonetos que constituem o gasóleo (ainda que incluam dois átomos de oxigénio) (Santos, 1993). O gasóleo identifica-se quimicamente como uma mistura de hidrocarbonetos, em que 50 % correspondem a hidrocarbonetos saturados, de cadeia linear, distribuídos entre C_9 e C_{22} , com predomínio de C_{12} e C_{13} (Santos, 1993).

Deste modo, os ésteres metílicos em relação aos triacilgliceróis originais, apresentam características físico-químicas mais próximas das do gasóleo, como se pode verificar no Quadro 2.

Quadro 2 - Características físico-químicas do gasóleo e dos ésteres metílicos obtidos a partir do óleo de colza

Propriedades	Gasóleo	Ésteres metílicos de óleo de colza
Massa volúmica a 20° C (kg.L ⁻¹)	0,845	0,88
Viscosidade cinemática a 20°C (mm ² .s ⁻¹)	2,5 - 5,5	7
Índice de cetano	48 - 50	49 - 50

Fonte: Institut Français de Huiles Vegetables Pures (2010)

A viscosidade quando adequada, permite a circulação do gasóleo pelas tubagens e injectores, permitindo uma melhor aspersão do gasóleo para a câmara de combustão.

O índice de cetano é um parâmetro muito importante do combustível, pois mede a sua capacidade de auto-inflamação, esta é uma medida da demora na inflamação do combustível, em dadas condições de compressão e de injeção, sendo que, quanto mais elevado for o índice, menor é tal demora (Santos, 1993).

Existem vários protocolos que poderão ser seguidos para a produção de biodiesel. O protocolo que se expõe em seguida é um dos possíveis e foi adaptado de Gomes (2006) consistindo nas seguintes etapas:

1. Extracção do óleo das sementes

Primeiramente deve-se proceder à prensagem das sementes, de forma, a obter-se um bolo, através do qual se irá fazer circular o solvente escolhido (geralmente *n*-hexano). Desta etapa, resulta o bagaço e a miscela, esta última constituída por uma mistura de óleo e solvente. Por destilação da miscela é possível a separação das duas fases, o solvente obtido é reciclado no processo e o óleo vegetal bruto obtido é encaminhado para o reactor onde ocorrerá a reacção de transesterificação.

Segundo Guerrero (1999), o rendimento médio que se pode obter da semente de colza, no processo industrial, é de 39 % de óleo, 59 % de bagaço e 2 % de resíduos.

2. Reacção de transesterificação

Ocorre num reactor onde dá entrada o óleo vegetal bruto extraído das sementes. Ao óleo vegetal bruto obtido é adicionado metóxido de sódio ou de potássio, de acordo, com o catalisador escolhido. O metóxido resulta da mistura entre o catalisador e o metanol (álcool), a quantidade de catalisador a utilizar na reacção é determinada por neutralização do óleo a processar.

A reacção de transesterificação é normalmente efectuada a temperaturas próximas do ponto de ebulição do álcool, ponto esse que é de 64,7°C (à pressão atmosférica) para o metanol. Segue-se um período de agitação, de forma, a possibilitar uma reacção o mais completa possível. Para que a reacção se dê rapidamente é necessário garantir o regime turbulento (número de Reynolds superior a 2100) da mistura a reagir, isto é conseguido pelo uso de uma bomba centrífuga adequadamente dimensionada.

Pretende-se que a temperatura se mantenha constante durante toda a reacção. O aquecimento do reactor poderá ser eléctrico, por serpentina ou camisa de água quente ou ainda misto.

3. Drenagem do glicerol

Após a reacção deve seguir-se um período de sedimentação de quatro a oito horas em que a temperatura não deverá baixar dos 38 °C, de forma, a evitar a solidificação do glicerol, o que poderia provocar o bloqueio das tubagens e das bombas. Durante o processo de sedimentação, o glicerol (componente mais denso) separa-se dos ésteres metílicos (componente menos denso) por acção da gravidade e acumula-se no fundo do reactor. É então altura de separar estas duas fases por escoamento. Em geral, o produto escoado é constituído por glicerol, pelo álcool que não reagiu e por contaminantes diversos como os flocos resultantes de alguma saponificação. Este produto é posteriormente processado, por destilação, de forma, a permitir a recuperação do metanol.

O glicerol, um subproduto da reacção, pode ter uma série de aplicações, como sejam, o uso directo como lubrificante para usos grosseiros, o uso como combustível para caldeiras de aquecimento de água ou a venda após purificação, visto conter muitos contaminantes, para as indústrias farmacêutica e de cosmética.

4. Recuperação do metanol

Devido a se aplicar um excesso considerável de metanol para podermos produzir um biodiesel de qualidade, a recuperação do excedente é altamente vantajosa, quer por razões ambientais, quer económicas.

Para tal, o produto obtido por escoamento na etapa anterior é direccionado para um destilador e procede-se à evaporação do metanol presente na mistura, elevando a temperatura até, pelo menos, à temperatura de ebulição do metanol (64,7 °C à pressão atmosférica). Se reduzirmos a pressão, poderemos evaporar o metanol a temperaturas mais baixas, com poupança de energia. Posteriormente, é condensado devendo a temperatura no condensador ser 20 °C, pelo menos, inferior à temperatura de ebulição do metanol à pressão escolhida. O metanol recuperado retorna ao vaso de preparação do metóxido, de forma, a ser utilizado no ciclo seguinte.

5. Lavagem

Regra geral, recomenda-se três lavagens para garantir a remoção de possíveis contaminantes existentes no biodiesel.

Qualquer que seja o tipo de lavagem, o pH da água deverá ser sempre corrigido para valores próximos de 7.

Os reagentes utilizados na primeira lavagem são: água destilada ou desmineralizada; ácido fosfórico (H_3PO_4) ou ácido acético (CH_3COOH) e agente anti-espuma. Este último só deverá ser adicionado se ocorrer produção excessiva de espuma ou uma elevada tendência à emulsão e sempre em quantidades mínimas, da ordem dos 0,005 g/L. O ácido é adicionado com o objectivo de neutralizar o excesso de base usada como catalisador no processo de transesterificação.

A segunda e terceira lavagens deverão ser feitas apenas com água.

A temperatura das lavagens, deverá ser de 35 a 45 °C, de forma, a aumentar a eficácia das mesmas.

A primeira água de lavagem é eliminada, a segunda e terceira são armazenadas para futura utilização no processo.

Após cada lavagem, a água deverá ser removida por sedimentação. O tempo de sedimentação deverá ser de pelo menos duas horas.

6. Secagem do biodiesel

As normas europeias exigem que o biodiesel apresente um baixo teor em água. A água pode ser removida por evaporação ou por centrifugação. No primeiro caso, procede-se à elevação da temperatura a 103 °C durante aproximadamente 15 minutos, essa temperatura pode ser reduzida se recorrermos ao vácuo. A centrifugação é um processo mais rápido e com menores custos energéticos

Após a secagem, o biodiesel deverá apresentar uma coloração amarelo palha ou quase incolor (dependendo do tipo de óleo de que se partiu) e não deverá exibir turbidez.

7. Aditivação

Nesta etapa o objectivo é aumentar a estabilidade do biodiesel, ou seja, aumentar a capacidade de resistência a alterações químicas nos períodos de armazenagem longos. As alterações químicas resultam principalmente de reacções de oxidação, para tal devemos adicionar anti-oxidantes ao combustível. Os mais comuns são a butil-hidroquinona terciária, usada à razão de 0,02 % ou o ácido acético na percentagem de 0,002 %. Este último é usado como quelante para capturar iões metálicos, como o cobre, que catalisam os processos de oxidação.

8. Filtração

A última etapa antes do armazenamento consiste na filtração do biodiesel por uma malha de 5 µm.

9. Armazenamento

O armazenamento deverá ser feito preferencialmente, a uma temperatura 6°C acima do ponto de nuvem.

No final do processo, o biodiesel obtido deverá obedecer, em espaço comunitário, às especificações reguladas pela norma EN 14214 e cuja discriminação extensiva se encontra em anexo (Anexo III).

A legislação existente exige que os produtores e os importadores de biocombustíveis devem manter em arquivo, comprovativos da origem biológica e das características do seu produto emitidos por laboratórios nacionais acreditados ou por outras entidades reconhecidas pelo Sistema Português de Qualidade.

O processo completo pode ser representado esquematicamente pela Figura 3

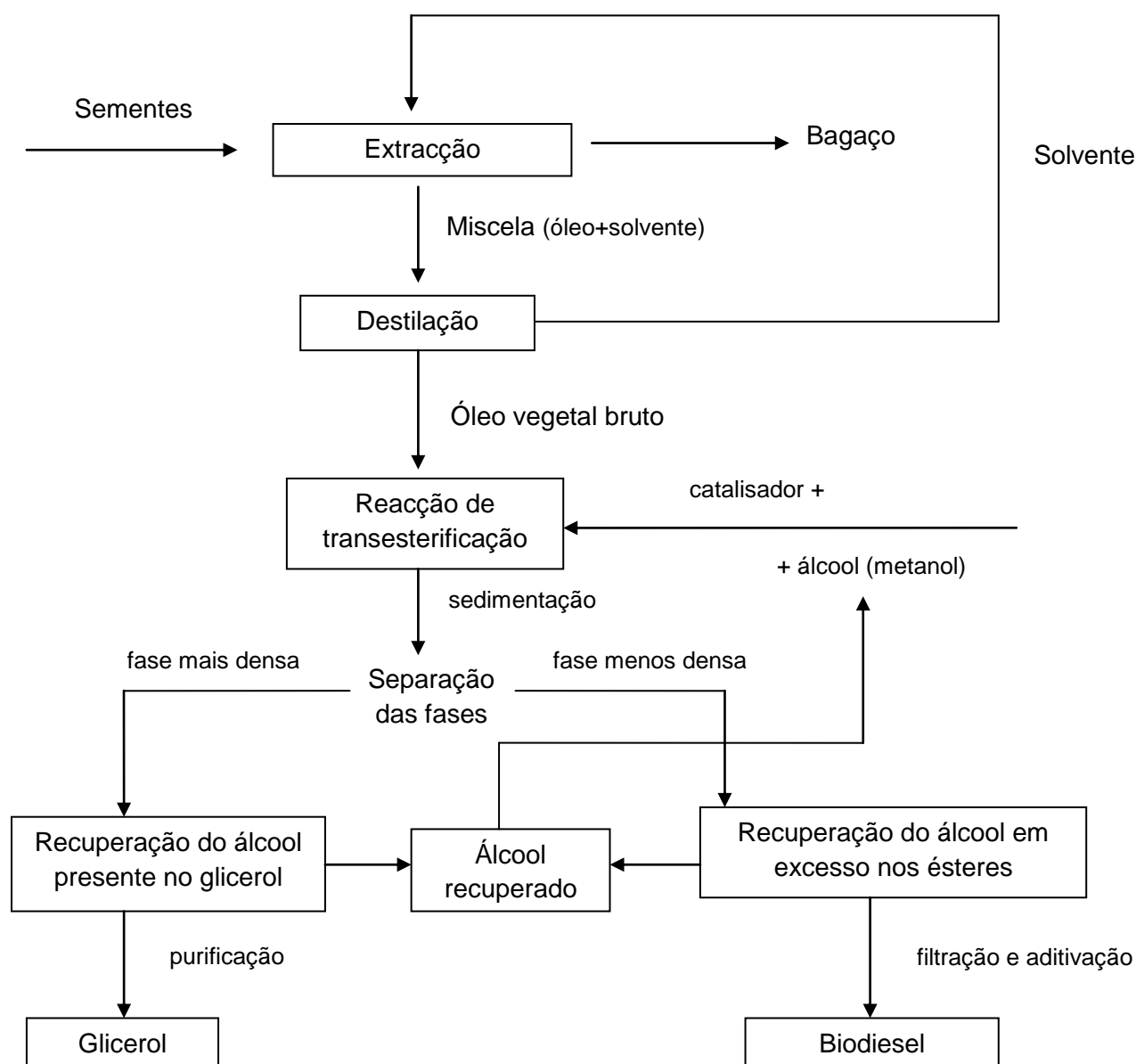


Figura 3 - Representação esquemática do protocolo enunciado para produção de biodiesel.

De modo a finalizar, vamos enumerar algumas das estruturas industriais existentes no nosso país para a produção de biodiesel. Nascimento (2007) aponta as principais empresas a laborar:

1. Torrejana, localizada em Torres Novas, encontra-se em laboração desde Fevereiro de 2006 com uma capacidade instalada de 100 mil t.ano⁻¹;
2. Iberol, localizada em Alhandra, encontra-se em laboração desde Abril de 2006 com uma capacidade instalada de 90 mil t.ano⁻¹;
3. Biovegetal, localizada em Alhandra, encontra-se em laboração desde Outubro de 2007 com uma capacidade instalada de 125 mil t.ano⁻¹;
4. Prio Biofuels, localizada no Porto de Aveiro, encontra-se em laboração desde Novembro de 2007 com uma capacidade instalada de 100 mil t.ano⁻¹;
5. Enerfuel, localizada em Sines, encontra-se em laboração desde o primeiro semestre de 2008 com uma capacidade instalada de 25 mil t.ano⁻¹;
6. Tagol, localizada em Almada apresenta uma capacidade instalada de 100 mil t.ano⁻¹;
7. Sociedade de Biocombustíveis do Norte, localizada em Santo Tirso encontra-se em laboração desde 2008 com uma capacidade instalada de 14 mil t.ano⁻¹;
8. Greencyber, localizada em Sines encontra-se em laboração desde 2009 com uma capacidade instalada de 250 mil t.ano⁻¹;
9. Galp Energia, localizada em Sines e Matosinhos com uma capacidade instalada de 500 mil t.ano⁻¹.

Gomes (2006) refere empresas como a Space (Vila Nova de Famalicão), a Socipol (Porto), a Sunenergy (Sintra) e a Dieselbase (Setúbal), todas com uma capacidade instalada de 5 mil t.ano⁻¹.

2.5 BALANÇO ENERGÉTICO DE UMA CULTURA - INDICADORES ENERGÉTICOS

A utilização de qualquer espécie agrícola para produção de combustível só deverá ser viável se a quantidade de energia extraída (*output*) for superior à energia (normalmente de origem não renovável) consumida na sua produção (*input*). Assim, é de extrema importância a determinação de indicadores energéticos que relacionem os *inputs* e *outputs*, de modo, a ser possível inferir sobre a potencialidade energética da cultura em estudo para a produção de biocombustível.

Uma análise energética a nível global consiste na representação num quadro de contabilidade coerente, do total de energia contida no biocombustível e demais subprodutos (*outputs*) e a quantidade de energia investida em todo o processo de produção, incluindo-se as etapas agrícola, industrial e de transporte e distribuição (*inputs*).

Estas quantidades de energia devem ser expressas e contabilizadas em unidades de conta única, de modo a permitir comparações válidas e a adição e subtração de resultados. Como se trata de uma aplicação a nível energético, utilizou-se o MegaJoule por hectare ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$), como unidade de referência.

Neste subcapítulo vamos proceder à apresentação de uma metodologia que nos permite determinar as entradas (*inputs*) e as saídas (*outputs*) de energia de um sistema. O sistema considerado é a parcela agrícola. Após estarmos na posse desses dados é possível calcular os indicadores energéticos.

2.5.1 *Inputs* ou entradas de energia

A maioria dos autores classifica a energia requerida por cada operação cultural, em duas categorias, de acordo com o ser consumida directa ou indirectamente no processo produtivo.

As entradas directas de energia englobam toda a energia consumida directamente no processo produtivo (electricidade, combustível e lubrificantes).

As entradas de energia indirecta incluem toda a energia que é consumida para o fabrico dos factores de produção. Gopalakrishan (1994) subdivide esta categoria em energia auxiliar, como a requerida para produzir os *inputs* aplicados numa campanha e que se esgotam no decurso da mesma e em energia incorporada, como a energia necessária para fabricar os *inputs* que duram mais do que uma campanha, tais como tractores, máquinas agrícolas, infra-estruturas e material de rega.

No Quadro 3 identificam-se e agrupam-se as diferentes entradas a considerar na etapa agrícola.

Quadro 3 - *Inputs* ou entradas de energia na etapa agrícola

Energia Directa	Energia Indirecta
Combustível	Sementes
Lubrificantes	Fertilizantes
Electricidade	Pesticidas
	Máquinas Agrícolas
	Mão-de-obra
	Material de rega

A entrada de energia "combustível" refere-se ao combustível consumido directamente pelas máquinas agrícolas e ao combustível consumido directamente na bombagem da água de rega quando esta é efectuada com recurso a motores a gasóleo.

A entrada de energia "electricidade" refere-se ao consumo de electricidade para bombagem da água num sistema de regadio.

A entrada de energia "fertilizantes" inclui os fertilizantes azotados (N), os fertilizantes fosfatados (P_2O_5) e os fertilizantes potássicos (K_2O).

A entrada "pesticidas" inclui os fungicidas, os herbicidas e os insecticidas.

Na etapa de transformação temos que contabilizar de acordo com Gazzoni *et al.* (2009), os consumos de energia com a extracção do óleo, a refinação e com a reacção de transesterificação.

2.5.2 *Outputs* ou saídas de energia

A saída de energia do sistema é constituída pela energia contida na biomassa colhida ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). No caso da colza, a biomassa colhida com principal interesse energético é a semente, que possui o óleo a partir do qual será produzido o biocombustível.

No entanto, o cultivo da colza possibilita dois tipos de produtos, a palha na proporção de 63 % e a semente na proporção de 37 % (El Bassam, 1996; Neto, 2001).

Para que o balanço se torne mais favorável é muito importante o aproveitamento energético dos subprodutos, quer da etapa agrícola (palha) quer da etapa industrial (glicerol e resíduo sólido).

2.5.3 Coeficientes energéticos

Os coeficientes energéticos exprimem o conteúdo de energia associado a cada unidade de entrada ou saída, variando consoante o autor, como se pode verificar no Quadro 4 presente nas páginas 30 e 31.

2.5.4 Metodologia de cálculo dos indicadores energéticos

De acordo com Hülsbergen *et al.* (2001), tanto as entradas como as saídas de energia deverão ser contabilizadas relacionando o coeficiente energético com a respectiva quantidade de energia associada, de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{Quantidade de energia consumida} = \text{Quantidade de factor consumido} * \text{Coeficiente energético}$$

ou produzida ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$) ou produzido

A informação sobre a quantidade de factor empregue e a quantidade de biomassa obtida, deveria ser adquiridas através da realização de inquéritos aos agricultores para que o balanço seja o mais próximo possível da realidade. Os coeficientes energéticos, por outro lado, foram recolhidos de bibliografia especializada.

A partir das quantidades de *inputs* e *outputs* obtidos, podemos calcular vários índices de interesse para a avaliação energética da cultura em análise.

São três os indicadores mais comumente quantificados:

1. A *eficiência energética* (EE) define-se como o quociente entre os *outputs* e os *inputs*, indicando-nos a quantidade de energia produzida pela cultura por unidade energética consumida (Hülsbergen *et al.*, 2001). Pode ser expressa através da fórmula seguinte:

$$EE = \text{Outputs} / \text{Inputs}$$

Se o resultado for superior à unidade pode-se concluir que a cultura produz mais energia do que aquela que consome. Se for igual à unidade estamos perante uma cultura energeticamente equilibrada por consumir a mesma energia que produz. Se, por outro lado, for inferior à unidade, a cultura produz uma quantidade de energia inferior à que consome. Nos dois últimos casos, trata-se de uma cultura não interessante do ponto de vista energético, pelo menos nas condições em que foi produzida.

2. A *razão energética* (RE) define-se como o quociente entre os *inputs* e os *outputs*, ou seja, trata-se da razão entre a energia consumida em todo o processo e a energia contida no produto final. Permite-nos estimar a energia consumida pela cultura para produzir uma unidade energética. Pode ser expressa através da fórmula seguinte:

$$RE = \text{Inputs} / \text{Outputs}$$

Caso seja superior à unidade pode-se concluir que a cultura consome mais energia do que aquela que produz. Se for igual à unidade estamos perante uma cultura energeticamente equilibrada por consumir a mesma energia que produz. Se, por outro lado, for inferior à unidade, a cultura consome uma quantidade de energia inferior à que produz. Nos dois primeiros casos, trata-se de uma cultura não interessante do ponto de vista energético, pelo menos nas condições em que foi produzida.

3. O *balanço energético* (BE) obtém-se por subtração à energia produzida pela cultura (*output*), da energia utilizada durante todas as fases do processo de produção (*inputs*), de acordo com a fórmula que se segue:

$$BE = Outputs - Inputs$$

Este é o princípio básico que nos permite estabelecer se foi consumida mais energia na produção da biomassa do que aquela que se extraiu da biomassa produzida. Assim, se o resultado for superior a zero podemos concluir que a cultura produz mais energia do que aquela que consumiu. Se for igual a zero estamos perante uma cultura energeticamente equilibrada por consumir a mesma energia que produziu. Se, por outro lado, for inferior a zero, a cultura produziu uma quantidade de energia inferior à que consumiu. Nos dois últimos casos, trata-se de uma cultura não interessante do ponto de vista energético, pelo menos nas condições em que foi produzida.

Quadro 4 - Coeficientes energéticos para os *inputs* e *outputs* apresentados

Inputs da etapa agrícola	Autor	Coeficiente energético
Combustível	Serra <i>et al.</i> (1979)	43,93 MJ.L ⁻¹
	Reinhardt (1993)	39,60 MJ.L ⁻¹
	Kaltschmitt e Reinhardt (1997)	40,03 MJ.L ⁻¹
	Wang <i>et al.</i> (1997)	45,90 MJ.L ⁻¹
	Berthiaume <i>et al.</i> (2001)	45,90 MJ.L ⁻¹
	Dalgaard <i>et al.</i> (2001)	40,68 MJ.L ⁻¹
	Shapouri <i>et al.</i> (2002)	53,97 MJ.L ⁻¹
	Pimentel (2003)	50,24 MJ.L ⁻¹
	Patzek (2004)	45,90 MJ.L ⁻¹
Lubrificantes	Serra <i>et al.</i> (1979)	43,91 MJ.L ⁻¹
	Dalgaard <i>et al.</i> (2001)	3,6 MJ.L ⁻¹ (litro de combustível)
Sementes de colza	Gazzoni <i>et al.</i> (2009)	75,35 MJ.kg ⁻¹
Fertilizantes Azotados (N)	Pellizzi (1992)	73,00 MJ.kg ⁻¹
	Kaltschmitt e Reinhardt (1997)	47,10 MJ.kg ⁻¹
	Wang <i>et al.</i> (1997)	49,06 MJ.kg ⁻¹
	Campos (2001)	73,30 MJ.kg ⁻¹
	Dalgaard <i>et al.</i> (2001)	55,30 MJ.kg ⁻¹
	Shapouri <i>et al.</i> (2002)	43,00 MJ.kg ⁻¹
	Pimentel (2003)	64,43 MJ.kg ⁻¹
	Patzek (2004)	54,43 MJ.kg ⁻¹
Fertilizantes Fosfatados (P₂O₅)	Mercier (1978)	13,90 MJ.kg ⁻¹
	Pellizzi (1992)	13,00 MJ.kg ⁻¹
	Wang <i>et al.</i> (1997)	11,40 MJ.kg ⁻¹
	Berthiaume <i>et al.</i> (2001)	6,80 MJ.kg ⁻¹
	Hülsbergen <i>et al.</i> (2001)	15,80 MJ.kg ⁻¹
	Shapouri <i>et al.</i> (2002)	4,76 MJ.kg ⁻¹
	Pimentel (2003)	17,44 MJ.kg ⁻¹
	Patzek (2004)	6,80 MJ.kg ⁻¹
Fertilizantes Potássicos (K₂O)	Pellizzi (1992)	9,00 MJ.kg ⁻¹
	Kaltschmitt e Reinhardt (1997)	9,30 MJ.kg ⁻¹
	Wang <i>et al.</i> (1997)	5,3 MJ.kg ⁻¹
	Berthiaume <i>et al.</i> (2001)	6,80 MJ.kg ⁻¹
	Shapouri <i>et al.</i> (2002)	8,71 MJ.kg ⁻¹
	Pimentel (2003)	13,77 MJ.kg ⁻¹
	Patzek (2004)	6,80 MJ.kg ⁻¹

Fungicidas	Green (1987)	196,00 MJ.kg ⁻¹
	Dalgaard <i>et al.</i> (2001)	276,00 MJ.kg ⁻¹
Herbicidas	Green (1987)	288,00 MJ.kg ⁻¹
	Wang <i>et al.</i> (1997)	237,30 MJ.kg ⁻¹
	Dalgaard <i>et al.</i> (2001)	214,00 MJ.kg ⁻¹
	Bueno (2002)	302,00 MJ.kg ⁻¹
	Shapouri <i>et al.</i> (2002)	261,00 MJ.kg ⁻¹
	Pimentel (2003)	422,00 MJ.kg ⁻¹
	Patzek (2004)	261,00 MJ.kg ⁻¹
Insecticidas	Wang <i>et al.</i> (1997)	243,00 MJ.kg ⁻¹
	Bueno (2002)	306,60 MJ.kg ⁻¹
	Shapouri <i>et al.</i> (2002)	268,40 MJ.kg ⁻¹
	Pimentel (2003)	422,00 MJ.kg ⁻¹
	Patzek (2004)	268,40 MJ.kg ⁻¹
Mão-de-Obra	Comitre (1993)	1,20 MJ.h ⁻¹
Máquinas Agrícolas	Kalk <i>et al.</i> (1995)	108,00 MJ.kg ⁻¹ (peso da máquina)
	Acaroglu (2005)	71,38 MJ.kg ⁻¹
Outputs da etapa agrícola		
	Autor	Coeficiente energético
Colza (semente)	Gazzoni <i>et al.</i> (2009)	75,35 MJ.kg ⁻¹
Outputs da etapa industrial		
Biodiesel de óleo de colza	Inst. Français de Huile Veg. Pures (2010)	37,44 MJ.kg ⁻¹
Glicerina	Gazzoni <i>et al.</i> (2009)	16,74 MJ.kg ⁻¹
Resíduo sólido	Gazzoni <i>et al.</i> (2009)	24,28 MJ.kg ⁻¹

3. CASO DE ESTUDO

3.1 INTRODUÇÃO

O girassol é a oleaginosa tradicional no nosso país havendo grande procura do seu grão para fins alimentares, no qual somos deficitários. Deste modo, torna-se importante encontrar com vista à produção de biodiesel, culturas oleaginosas alternativas às tradicionalmente produzidas para fins alimentares (Lourenço & Palma, 2006). É neste contexto que surge a colza como possível alternativa.

A introdução desta cultura nos sistemas de rotação, em substituição do girassol, poderá ter interesse pelas seguintes razões (Lourenço *et. al*, 2000):

1. A colza ao entrar em floração, nos fins de Fevereiro (nas nossas condições), terá menores probabilidades de sofrer de carência hídrica nesta fase crítica para a produção, comparativamente ao girassol, que entra em floração em Junho/Julho, altura do ano em que a precipitação e disponibilidade em água são inferiores.
2. O seu óleo possui um índice de iodo (113) mais adequado à transformação em biodiesel, quando comparado ao óleo de girassol (131). Este índice é uma medida da presença de ácidos gordos insaturados que aumentam a viscosidade do combustível.
3. O seu sistema radical profundante e extenso conjuntamente com o volume de resíduos que deixa no solo após a colheita (4 a 6 t.ha⁻¹ de matéria seca) podem contribuir para melhorar a porosidade e aumentar o teor de matéria orgânica do solo.
4. Não é muito exigente em maquinaria especializada, podendo ser utilizado o mesmo equipamento que para os cereais, não requerendo grandes investimentos e adaptações a nível da exploração por permitir o recurso ao parque de máquinas existente,
5. O seu óleo tem maiores dificuldades de penetração no mercado para fins alimentares apresentando menor valor comercial do que o óleo de girassol.

3.2 A CULTURA DA COLZA

3.2.1 Aspectos botânicos

A colza, *Brassica napus* L., é uma cultura herbácea anual pertencente à família das crucíferas.

As plantas apresentam raiz apumada com capacidade para ramificar consoante os obstáculos que encontre em profundidade.

Os caules dependendo das condições ambientais e do povoamento são mais ou menos ramificados, podendo atingir 1,40 – 1,80 m de altura.

As folhas inferiores são pecioladas enquanto as superiores são inteiras e lanceoladas.

Possui flores hermafroditas, de coloração amarela, com quatro pétalas e quatro sépalas dispostas em cruz, seis estames (quatro dos quais são mais alongados) e um pistilo, agrupando-se em rácimos na extremidade do caule principal e em cada uma das ramificações.

Os frutos tendem a ser deiscentes e são classificados como silíquas. Guerrero (1999) refere que o comprimento (entre 5 a 6 cm), assim como o número de sementes por silíqua (20 a 25 sementes esféricas com um diâmetro entre os 2 a 2,5 mm e 3 mg de peso aproximadamente) são uma característica da variedade. O número de grãos por kg de semente é de aproximadamente 300 000 a 400 000 e quando maduros apresentam uma coloração castanho avermelhada a negra.

A reprodução efectua-se essencialmente por auto-fecundação, porém, a fecundação cruzada (anemófila e entomófila) pode ser da ordem dos 30 % (Lourenço & Palma, 2006).

Lourenço e Palma (2006) apresentam as seguintes fases de desenvolvimento da colza:

1. *sementeira - emergência*: ocorre entre Outubro/Novembro e tem uma duração de 10 a 20 dias. A taxa de emergência depende da humidade e temperatura do solo, assim como do nível de contacto com o meio e profundidade da sementeira (Fernando, 2007);

2. *emergência – roseta*: ocorre entre Outubro/Novembro e caracteriza-se pelo aparecimento de dois cotilédones;

3. *roseta – início do crescimento do caule*: ocorre entre Outubro/Novembro e prolonga-se até fins de Janeiro, começa com o aparecimento de dois cotilédones, observando-se posteriormente, o primeiro entre-nó. Durante este período formam-se 6 a 8 ou mais folhas verdadeiras e verifica-se um grande desenvolvimento do sistema radical. É no final desta fase que se recomenda a 1ª adubação de cobertura (Guerrero, 1999);

4. *início do crescimento do caule – início da floração*: ocorre 3 a 4 meses após a sementeira e tem uma duração de 15 a 20 dias;

5. *início da floração – fim da floração*: ocorre entre o fim de Fevereiro e continua até meados de Abril de uma forma escalonada da base para o topo, podendo durar 30 a 40 dias (nas variedades mais precoces);

6. *fim da floração – maturação*: ocorre de meados de Abril a fim de Maio/início de Junho.

A colza caracteriza-se por um crescimento indeterminado, ou seja, a fase da floração e da formação das silíquas não são mutuamente exclusivas, observando-se o aparecimento de silíquas na zona inferior da planta quando a região acima se encontra ainda em floração (Guerrero, 1999; Lourenço & Palma, 2006).

A duração do ciclo cultural depende do ano, do local, da data de sementeira e da variedade, na medida em que estes factores implicam diferentes condições ambientais em estados fisiológicos equivalentes (Lourenço & Palma, 2006). Estudos efectuados no Alentejo, por Lourenço *et al.* (2000), apontam para um período de 190 a 214 dias, entre a sementeira e a maturação.

3.2.2 Características fotossintéticas

A colza é uma planta em C3, ou seja, apresentam um balanço fotossintético mais eficiente a baixas temperaturas (15 a 20 °C) e são menos eficientes no uso da água do que as plantas em C4.

3.2.3 Composição média da semente de colza

O óleo de colza é extraído da semente, onde existe em teores que podem variar entre 40 a 50 % (El Bassam, 1996). De acordo com Guerrero (1999), a composição média da semente é a apresentada no Quadro 5.

Quadro 5 - Composição média da semente de colza

Componentes	% componentes
Proteínas	21,08
Lípidos	48,55
Fibra	6,42
Cinzas	4,54
Extractos não azotados	19,41
Total	100,00

No Quadro 6 apresenta-se os teores dos diferentes ácidos gordos que compõem o óleo de colza e o óleo proveniente das variedades "zero", obtidas por melhoramento.

Quadro 6 - Composição em ácidos gordos do óleo de colza e do óleo proveniente de variedades melhoradas:

Natureza dos ácidos gordos	Natureza dos ácidos gordos	
	Óleo de colza	Óleo de variedades "zero"
Ácido palmítico (C16:0)	4,0	4,3
Ácido esteárico (C18:0)	1,5	1,9
Ácido oleico (C18:1)	17,0	63,0
Ácido linoleico (C18:2)	13,0	20,3
Ácido linolénico (C18:3)	9,0	8,6
Ácido eicosenóico (C20:1)	14,5	1,9
Ácido erúico (C22:1)	41,0	0,0

Fonte: FAO (2010a)

Da análise deste quadro, constata-se que o ácido erúico é o principal tipo de ácido gordo presente no óleo de colza.

A Portaria nº 752/88 de 23 de Novembro [12] decreta que o óleo de colza para fins alimentares deve conter um teor em ácido erúico inferior a 5 %, de modo, a que não se verifiquem problemas na saúde dos consumidores.

Guerrero (1999) refere que outra problemática com impactos na saúde é o teor elevado em glucosinolatos presentes na farinha. Para se ultrapassar estas questões, procedeu-se à selecção de variedades, as "zero" quando isentas de ácido erúico e as "duplo zero" quando isentas de ácido erúico e com um teor residual de glucosinolatos (El Bassam, 1996; Guerrero, 1999). Estas variedades apresentam quantidades consideravelmente mais elevadas em ácido oleico e linoleico em detrimento do ácido eicosenóico [d].

3.2.4 Produção Mundial

De acordo com dados da FAO (FAO, 2010b), para o ano de 2008, os cinco principais países produtores de colza foram o Canadá (12,6 Mt), a China (12,1 Mt), a Índia (5,8 Mt), a Alemanha (5,1 Mt) e a França (4,7 Mt). No Canadá esta foi a segunda cultura quantitativamente mais importante.

Em Portugal de acordo com dados do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas (MADRP, 2010) produziram-se 426 ha de colza como cultura energética subsidiada.

3.2.5 Utilização Potencial

O cultivo da colza possibilita dois tipos de produtos, a palha na proporção de 63 % e a semente na proporção de 37 % (El Bassam, 1996; Neto, 2001).

A palha pode ser deixada no solo de forma a melhorar a sua estrutura e reduzir a erosão ou ser utilizada como fertilizante ou como biomassa energética.

De acordo com Guerrero (1999), o óleo extraído da semente pode ser usado na produção de biodiesel ou no fabrico de margarinas, na indústria de alimentos preparados e directamente na alimentação humana e de animais, quando apresentar teores baixos em glucosinolatos e um teor em ácido erúico inferior a 5 %.

Ainda de acordo com este autor, o bagaço de colza, subproduto da extração do óleo mais importante quantitativamente, apresenta boas características em termos de proteína (36 a 40 %) e fibra bruta (12 %) constituindo uma boa opção para alimentação animal.

O óleo de colza pode ainda ser empregue na indústria metalúrgica para temperar metais (Guerrero, 1999).

3.2.6 Variedades de colza

A colza apresenta dois tipos de variedades: as de Inverno ou de ciclo longo com uma duração de nove a dez meses, passando por um período de dormência invernal, e as de Primavera ou de ciclo curto, com uma duração de cinco a seis meses. De um modo geral, os melhores resultados obtêm-se com recurso a cultivares de Primavera com sementeira no Outono (Guerrero, 1999).

Lourenço e Palma (2006) referem que nas nossas condições, se deverá optar por variedades de Primavera, pelo menos no Sul, isto porque, as variedades de Inverno ao necessitarem de vernalização para florir comportam-se como muito tardias, podendo coincidir a fase de floração com a fase de carência hídrica, que ocorre na Primavera, o que poderia colocar em risco a produtividade. De acordo com os mesmos autores, as variedades de Inverno estão recomendadas para sementeiras que se façam cedo no Outono, nas regiões do Norte e no interior, acima de Coimbra. A colheita destas variedades deverá ocorrer de finais de Junho a finais de Julho (Fernando, 2007).

3.2.7 Exigências Ecológicas:

Em termos edáficos a colza é uma cultura que tolera bem a salinidade (8-12 dS.m⁻¹) e valores de pH entre 5,5 e 8,0. Apesar de não ser muito exigente quanto às características do solo deverá ser cultivada preferencialmente em solos profundos e bem drenados, dada a natureza do seu sistema radical profundante (Guerrero, 1999).

Lourenço e Palma (2006) indicam os aluviosolos, os coluviosolos, os barros ou os para-barros.

Relativamente às condições climáticas, temperaturas do solo da ordem dos 6 a 8°C são favoráveis à ocorrência da germinação, verificando-se que a emergência ocorre mais rapidamente, quando as temperaturas se situam entre os 10 e os 12 °C. Desde a

emergência até ao início da fase de roseta são de evitar temperaturas inferiores a 2 ou 3 graus negativos. Na fase de desenvolvimento seguinte, ou seja, desde a fase de roseta até ao início do alongamento dos caules, a colza tolera temperaturas negativas da ordem - 8°C para as variedades de Primavera e -15 °C para as variedades de Inverno (Guerrero, 1999; Lourenço & Palma, 2006).

Fernando (2007) indica 20 °C como a temperatura óptima de desenvolvimento. Ainda segundo esta autora, temperaturas da ordem dos 10 a 15 °C, na fase de maturação permitem um maior teor de óleo nas sementes.

Como a floração é escalonada, o aparecimento de geadas tardias não acarreta problemas de maior, porém, nesta fase temperaturas muito elevadas podem provocar aborto floral e o encurtamento do ciclo reprodutivo (Lourenço & Palma, 2006).

Quanto ao regime pluviométrico, Guerrero (1999) refere que esta cultura se desenvolve bem a partir dos 400 mm de precipitação anual, desde que bem repartida e que responde muito bem a chuvas abundantes na Primavera.

Madelon (1999) assinala que em Portugal, a zona do Alentejo é a ideal para o cultivo desta oleaginosa.

3.2.8 Técnicas culturais

1. Rotações

Lourenço e Palma (2006) recomendam a integração desta cultura numa rotação quadrienal, de forma a reduzir a incidência de doenças e resistências a fitofármacos.

Os mesmos autores concluem que a colza é um bom precedente de cereais, uma vez que, não é susceptível às mesmas doenças e ao se tratar de uma espécie de folha larga permite um controlo mais eficaz das infestantes de folha estreita, conseguindo-se uma redução nas aplicações de herbicidas nas culturas de cereais. Devido ao volume de resíduos que deixa no solo, o que torna mais difícil a preparação do terreno, é de evitar o milho-grão como antecedente cultural.

2. Preparação do solo

Tem como objectivo deixar a camada superficial do solo bem preparada e uniforme, de forma, a que dado o reduzido calibre da semente da colza se possa proceder com sucesso à sementeira. O grau de mobilização depende do tipo de solo, do grau de infestação, da quantidade de resíduos deixados pela cultura anterior e do estado de humidade do solo. De um modo geral, uma escarificação e uma gradagem são suficientes (Lourenço & Palma, 2006).

3. Sementeira

Dever-se-á realizar em Outubro/Novembro, de forma, a que as plantas rapidamente façam uma cobertura completa da entrelinha, garantindo a utilização mais eficiente da energia solar, melhor controlo de infestantes e da erosão. O atraso na data de sementeira tem como consequência uma diminuição significativa na produção de grão, particularmente nas variedades de ciclo mais longo (Lourenço & Palma, 2006).

A sementeira pode ser efectuada com recurso a um semeador de linhas desde que se proceda aos ajustes necessários para a distribuição de semente de reduzido calibre.

De acordo com Guerrero (1999), a profundidade de sementeira deverá ser no máximo de 1 cm e a distância óptima entre linhas poderá variar de 30 a 40 cm. Ensaios realizados permitiram concluir que para espaçamentos pequenos, da ordem dos 15 cm, se obtinham plantas com pouco vigor o que afectava a produtividade. Por outro lado, com espaçamentos muito elevados, verificou-se a ocorrência de acama.

Lourenço e Palma (2006) recomendam em condições de sequeiro a aplicação de 200 sementes viáveis por m², de forma, a se atingir um povoamento de 80 a 100 plantas/m².

A sementeira directa poderá ser equacionada mas, neste caso, a percentagem de sucesso na emergência será menor.

Consoante o calibre da semente, o seu valor cultural e a percentagem de insucesso esperada na sementeira, a quantidade de semente a semear poderá estar compreendida entre 6 a 10 kg.ha⁻¹ (Guerrero, 1999).

4. Fertilização

Segundo o Instituto Nacional de Investigação Agrária (INIA, 2010), as quantidades ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de azoto (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) a aplicar dependem da produtividade esperada e, no caso do fósforo e do potássio, do teor destes nutrientes no solo, de acordo com o apresentado nos Quadros 7 e 8.

Quadro 7 - Quantidades de azoto (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) recomendadas em $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

Produtividade esperada ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Azoto	Fósforo - níveis no solo					Potássio - níveis no solo				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1,0	60	50	30	20	-	-	60	40	30	-	-
2,5	120	70	50	40	-	-	100	80	60	40	-
5,0	150	100	70	50	40	-	120	100	80	60	40

Quadro 8 - Correspondência entre níveis e teores do solo em fósforo e potássio expressos em ppm

Nível	Teor no solo (ppm ou $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) de fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O)
1	≤ 25
2	26 a 50
3	51 a 80
4	81 a 120
5	121 a 150
6	151 a 200
7	> 200

Ainda de acordo com o Instituto Nacional de Investigação Agrária (INIA, 2010) trata-se de uma cultura com sensibilidade alta às situações de carência em enxofre e boro.

Lourenço e Palma (2006), apontam extracções em enxofre por parte da planta, da ordem dos 20 a 30 kg.ha⁻¹. Os sintomas de carência manifestam-se por cloroses no limbo das folhas mais jovens e nas flores que perdem a cor, podendo também ocorrer aborto floral e a ausência da produção de grão no interior das silíquas.

Os autores acima citados indicam que o ideal será a aplicação do azoto em cobertura com recurso a um adubo que também veicule enxofre.

De um modo geral, é suficiente proceder-se a uma adubação de fundo aquando da sementeira e duas adubações de cobertura, uma em Dezembro/Janeiro e outra em Fevereiro com um adubo que veicule azoto. A realização da última adubação de cobertura deverá ser ponderada, uma vez que, as plantas de colza já se encontram desenvolvidas e o seu caule é muito susceptível de quebra.

5. Colheita

Pode ser realizada recorrendo-se a uma ceifeira debulhadora (desde que se procedam aos ajustamentos recomendados pelo manual do utilizador das respectivas marcas), logo que a cor do grão mude de um tom avermelhado para um tom escuro ou enegrecido nas silíquas do terço médio do caule (Guerrero, 1999), o que normalmente, ocorre em Maio.

Para se evitar a desgrana, deve ser realizada nas primeiras horas da manhã, altura em que as silíquas se encontram menos desidratadas (Lourenço & Palma, 2006).

6. Pragas e Doenças

No que se refere a pragas, Lourenço *et al.* (2000), apenas referem como preocupantes os ataques de pássaros e em alguns casos pontuais os ataques de afídeos.

Relativamente a doenças, a colza pode ser atacada por fungos de entre os quais, o mais prejudicial é o *Phoma lingam*, responsável pela necrose do colo. Porém, se a rotação quadrienal for respeitada, é provável que este problema não assuma dimensões relevantes. Ao nível das folhas, a sintomatologia baseia-se na presença de manchas pouco definidas de cor cinza, onde se observam uns pontos negros que são os picnídios do fungo. Nos caules, as manchas frequentemente são alongadas e rodeadas por um halo púrpura, a planta quando atacada pode quebrar pela zona do colo, onde as manchas apresentam uma coloração cinzenta escura, quase preta (Guerrero, 1999).

Outra doença com alguma expressão pelos danos que pode provocar é a alternariose, provocada pelo ataque de fungos do género *Alternaria ssp.* Os sintomas têm

início nas folhas, caracterizando-se por uns pequenos pontos necróticos rodeados por um halo mais claro. Posteriormente estes pontos evoluem, transformando-se em manchas necróticas de forma circular, de cor preta ou apresentando um centro cinzento e os bordos mais escuros. Os sintomas no caule e nos pecíolos são idênticos, porém as manchas têm uma forma alongada, em vez de circular (Guerrero, 1999).

A potra ou hérnia, cujo agente responsável é o fungo *Plasmodiophora brassicae*, caracteriza-se pelo aparecimento nas raízes de tumores ou hérnias, inicialmente brancos e adquirindo uma coloração negra ao longo do tempo (Guerrero, 1999).

7. Controlo de infestantes

É possível obter-se uma cobertura completa da entrelinha, um mês após a sementeira, pelo que posteriormente, o controlo de infestantes não causará grande preocupação. De um modo geral, será suficiente para o seu controlo, a limpeza do terreno e a aplicação de um herbicida antes da sementeira, se necessário poder-se-á efectuar mais uma aplicação de herbicida em pós-emergência (Lourenço & Palma, 2006).

3.2.9 Produtividades

Guerrero (1999) refere que em regime de sequeiro, as produtividades máximas não excedem normalmente os 1 500 kg.ha⁻¹.

Lourenço *et al.* (2000) com base em resultados obtidos da experimentação em regadio, afirmam que não é difícil conseguir-se uma produtividade de 2 000 kg.ha⁻¹ no Alentejo.

3.2.10 Itinerário técnico

O itinerário técnico apresentado no Quadro 9, presente na página 44, foi adaptado da conta de cultura da colza com mobilização principal sem reviramento de leiva que consta em anexo (Anexo IV).

Considerou-se uma situação de solos de barro, em que o local de trabalho se situava perto do assento de lavoura e a parcela tinha um comprimento inferior a 600 m.

Os dados presentes na conta da cultura referem-se à unidade, o hectare.

Os tempos de trabalho referidos foram obtidos, com algumas adaptações, nas tabelas de “Custos de execução das principais tarefas agrícolas (mão-de-obra e máquinas)” de Mendonça e Carneiro (1999).

Contabilizou-se somente um terço (33 %) do tempo com a mobilização principal, porque se assumiu que esta seria realizada trienalmente.

No que se refere ao transporte de adubo e semente para o local de trabalho, incluiu-se o dobro do tempo da mão-de-obra do tractorista (2 ajudantes) para fazer face ao trabalho adicional de carregamento.

Quadro 9 - Itinerário técnico (adaptado de Lourenço *et al.*, 2000)

Operação	Equipamento	Data média da operação	Mão-de-obra (horas.ha ⁻¹)	Tracção (horas.ha ⁻¹)	Consumos intermédios
Mobilização principal sem reviramento da leiva	Tractor 120 HP + Chisel 9 braços	Setembro/ Outubro	0,3	0,3	
Escarificação	Tractor 120 HP + Escarificador 15 braços	Outubro/ Novembro	0,6	0,6	
Aplicação de herbicida	Tractor 80 HP + Pulverizador 600 L	Outubro/ Novembro	0,6	0,6	Triflurex 2,0 L (doseia 480g.L ⁻¹ de trifluralina)
Gradagem	Tractor 120 HP + Grade 24 discos 24 "	Outubro/ Novembro	0,6	0,6	
Transporte de adubo e semente	Tractor 80 HP + Reboque 10,5 ton	Outubro/ Novembro	0,3	0,1	
Sementeira e adubação de fundo	Tractor 80 HP + Semeador fertilizador (3m)	Outubro/ Novembro	1,2	0,6	6 kg semente 400 kg Fertifos 10:25:13
Rolagem	Tractor 80 HP + 1 rolo de 3 m	Outubro/ Novembro	0,4	0,4	
Transporte de adubo	Tractor 80 HP + Reboque 10,5 ton	Dezembro/ Janeiro	0,3	0,1	
1ª Adubação de cobertura	Tractor 80 HP + Distribuidor centrífugo 600 L	Dezembro/ Janeiro	0,8	0,4	250 kg Nitrolusal 26 %
Transporte de adubo	Tractor 80 HP + Reboque 10,5 ton	Fevereiro	0,3	0,1	
2ª Adubação de cobertura	Tractor 80 HP + Distribuidor centrífugo 600 L	Fevereiro	0,8	0,4	250 kg Nitrolusal 26 %
Colheita	Ceifeira debulhadora para trigo, modelo 120	Maio	1,2	1,2	
Transporte de grão	Tractor 120 HP + Reboque 10,5 ton	Maio	0,15	0,15	
Total			7,55	5,55	

3.2.11 POTENCIAL ENERGÉTICO DA CULTURA DA COLZA

Apesar da mobilização zero ser a alternativa com menor custo energético associado e a mais sustentável do ponto de vista da conservação do solo, optou-se por trabalhar sobre a situação onde se procedeu à mobilização principal sem reviramento da leiva, dado que na sementeira directa, o muito pequeno calibre da semente levaria a perdas consideráveis, com consequências na produtividade da cultura.

A opção entre o sistema de regadio ou de sequeiro para uma mesma cultura é outra situação que conduz à obtenção de valores diferentes para os indicadores energéticos, isto porque, influencia a produção e a quantidade de energia consumida. Num sistema de regadio apesar de se conseguir obter produtividades mais elevadas, o consumo de energia também é maior. O regime de sequeiro constitui uma boa opção no caso de escassez de água, no caso em que esta é de qualidade inferior, no caso de menor disponibilidade económica ou mesmo numa perspectiva de poupança energética.

De acordo com Neto (2001), do consumo energético total para a produção de biodiesel de colza, 80 % é devido à etapa agrícola e 20 % à etapa industrial.

No decurso deste subcapítulo vai-se realizar um pequeno exercício de aplicação do modelo proposto no ponto 2.5.4 ao itinerário técnico apresentado no ponto 3.2.10.

A aplicação do modelo proposto permite-nos determinar os consumos de energia com a etapa agrícola, que representa 80 % do consumo total de energia (como já referido), assim como, os ganhos energéticos obtidos da utilização do biodiesel.

Deste modo, pretende-se catalogar a cultura da colza em regime de sequeiro e produzida de acordo com o itinerário referido, quanto à sua viabilidade para a produção de biodiesel

Para tal procedeu-se à simulação do balanço energético e ao cálculo da eficiência energética para uma produtividade de 1500 kg.ha^{-1} . Esta é a produtividade máxima apontada por Guerrero (1999) para o regime de sequeiro.

A análise desta situação decorre da necessidade de contenção nos consumos de combustíveis fósseis, uma vez que, os aumentos de produtividade não devem ser sustentados sem ter em conta a energia consumida.

Simulação 1: Produtividade esperada de 1500 kg.ha⁻¹**a) Cálculo da quantidade de energia consumida na etapa agrícola, expressa em MJ.ha⁻¹**

Fluck & Baird (1980) referem que um tractor de 100 HP à TDF (tomada de força) pode operar um total de 10 000 horas numa vida útil de 14 anos a 50 % de carga, consumindo um total de 1 060,5 MJ de energia por hora, dos quais 77 % correspondem a combustível e os restantes 23 % a: lubrificantes (3 %), manutenção das máquinas (11 %) e energia sequestrada nas máquinas (9 %).

Partindo do pressuposto atrás enunciado por Fluck e Baird (1980) para o consumo energético por hora e para o factor de conversão, é possível determinar-se a quantidade de energia consumida com combustíveis, lubrificantes, manutenção das máquinas e energia sequestrada nas máquinas, do seguinte modo:

$$\begin{array}{ccccc} \text{Quantidade de energia consumida} & = & \text{Consumo energético} & * & \text{Factor de Conversão} & * & \text{Total de horas de tracção} \\ (\text{MJ.ha}^{-1}) & & (\text{MJ.h}^{-1}) & & & & (\text{h.ha}^{-1}) \end{array}$$

Os resultados obtidos encontram-se expressos no Quadro 10.

Quadro 10 - Energia consumida com combustíveis, lubrificantes, manutenção das máquinas e energia sequestrada nas máquinas

Tipo de <i>input</i>	Consumo energético (MJ.h ⁻¹)	Factor de conversão	Total de horas de tracção (h.ha ⁻¹)	<i>Input</i> (MJ.ha ⁻¹)	Consumo de energia (%)
Combustível	1 060,5	0,77	5,5	4 491,22	25,6
Lubrificantes	1 060,5	0,03	5,5	174,98	0,10
Manutenção das máquinas	1 060,5	0,11	5,5	641,60	3,70
Energia sequestrada nas máquinas	1 060,5	0,09	5,5	524,95	3,10
Sub-total (1)				5 832,75	

O número total de horas de tracção para laborar um hectare é retirado das contas da cultura.

Para os restantes cálculos da energia consumida no fabrico dos factores de produção, aplicou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Quantidade de energia consumida} = \text{Quantidade de input} * \text{Coeficiente energético} \\ (\text{MJ.ha}^{-1})$$

Os resultados encontram-se expressos no Quadro 11.

Quadro 11 - Energia consumida no fabrico dos factores de produção

Tipo de <i>input</i>	Quantidade	Coeficiente Energético	<i>Input</i> (MJ.ha ⁻¹)	Consumo de energia (%)
Sementes de colza	6 Kg.ha ⁻¹	75,35 MJ.kg ⁻¹ (Gazzoni <i>et al.</i> , 2002)	452,1	2,6
Fertilizantes Azotados (N)	170 Kg.ha ⁻¹	55,30 MJ.kg ⁻¹ (Dalgaard <i>et al.</i> , 2001)	9 401	53,6
Fertilizantes Fosfatados (P₂O₅)	100 Kg.ha ⁻¹	11,40 MJ.kg ⁻¹ (Wang <i>et al.</i> , 1997)	1 140	6,50
Fertilizantes Potássicos (K₂O)	52 Kg.ha ⁻¹	8,71 MJ.kg ⁻¹ (Shapouri <i>et al.</i> , 2002)	452,92	2,60
Herbicidas	0,96 Kg.ha ⁻¹	288 MJ.kg ⁻¹ (Green, 1987)	276,48	1,60
Mão-de-obra	7,55 h.ha ⁻¹	1,2 MJ.h ⁻¹ (Comitre, 1993)	9,06	0,05
Sub-total (2)			11 731, 56	

Os coeficientes energéticos apresentados no Quadro 4 foram retirados de literatura especializada, no entanto, como se pode constatar não existe consenso entre os diversos autores, sendo que os valores variam muito de autor para autor. O critério escolhido para a obtenção de um único valor consistiu na realização de uma média aritmética e da escolha do valor referido na bibliografia que mais se lhe aproxima. No caso das sementes de colza e mão-de-obra utilizou-se o único valor apresentado.

Relativamente à quantidade de *input* para os diferentes factores de produção, esta foi determinada com base nos consumos intermédios apresentados na conta de cultura (Anexo IV) e com base nos seguintes conhecimentos:

- O fertilizante Fertifos 10:25:13 veicula 10 kg de N, 25 kg de P_2O_5 e 13 kg de K_2O por cada 100 kg de fertilizante que se aplica;
- O Nitrolusal 26 % doseia 26 kg de N por cada 100 kg;
- O coeficiente energético relativo ao herbicida diz respeito à energia por kg de substância activa.

Não se equacionou os fungicidas nem os insecticidas porque a sua aplicação não faz parte do itinerário técnico apresentado, aplicando-se apenas em caso de necessidade. No entanto, apresentam-se valores de coeficientes energéticos no Quadro 4. Para estes dois parâmetros, é de notar o elevado consumo de energia associada à sua fabricação.

Das somas parciais (1) e (2) presentes nos Quadros 10 e 11, obtemos um total para a quantidade de energia consumida na etapa agrícola de 17 564,3 MJ.ha⁻¹ (*input* total).

b) Cálculo da quantidade de energia obtida por hectare com o aproveitamento da semente

Com base no teor em óleo da semente de colza (40 %, teor mínimo referido na bibliografia consultada) e para a produtividade esperada de 1 500 kg.ha⁻¹ é possível determinar a produção de biodiesel a partir do óleo presente na semente (600 kg.ha⁻¹).

De acordo com o Institut Français de Huiles Vegetables Pures (2010), o Poder Calorífico Inferior do biodiesel de colza é de 37 MJ.kg⁻¹.

Assim se obtém um *output* total de 22 200 MJ.ha⁻¹.

c) Determinação dos indicadores energéticos:

$$EE = 1,26$$

BE = 4 635,7 MJ.ha⁻¹ ou 0,11 em tonelada equivalente de petróleo por hectare (tep.ha⁻¹).

É possível concluir que se evitou a exploração de 0,11 tep por unidade de área cultivada.

Da análise dos Quadros 10 e 11 é possível identificar os pontos com maior peso no consumo de energia. Os pontos identificados foram o combustível (25,6 % do consumo total de energia) e a fertilização azotada (53,6 %).

Numa perspectiva de economia energética, na simulação 2 e 3 propõe-se uma actualização destes parâmetros.

Simulação 2: Produtividade esperada de 1500 kg.ha⁻¹ mas em que se procede à actualização do consumo de combustível, por utilização de um tractor actual:

Os tractores actuais beneficiando de sistemas de sobrealimentação e "intercooler" são mais eficientes do que há 30 anos. O consumo específico (g.kWh⁻¹) varia em função do regime e da carga do motor, aproximando-se de 210 g.kWh⁻¹, no ponto de melhor rendimento.

De forma a actualizar o consumo de combustível, escolheu-se um tractor recente, cujas características se encontram no boletim de ensaio em anexo (Anexo V). Trata-se de um tractor da marca Case IH, modelo Maxxum 125X com uma potência máxima de 86,9 kW (aproximadamente 120 cv).

O tractor deve funcionar entre o regime de binário máximo e o regime nominal. Nestes regimes e a plena carga, o consumo específico varia de 240 g.kWh⁻¹ a 260 g.kWh⁻¹. Adoptando um valor médio (250 g.kWh⁻¹) e considerando que as operações agrícolas foram realizadas utilizando uma potência média de 60 cv, encontrou-se um consumo de 13 L.h⁻¹. Para o poder calorífico inferior do gasóleo recorreu-se ao valor de 10 200 Kcal.kg⁻¹, o que nos permitiu obter um valor de *input* para o combustível de 2 595,5 MJ.ha⁻¹.

Todos os outros valores de *inputs* permanecem iguais, como é possível constatar no Quadro 12.

Quadro 12 – Energia consumida por unidade de área para a simulação 2

Tipo de <i>input</i>	Quantidade	Coeficiente Energético	<i>Input</i> (MJ.ha ⁻¹)
Combustível	5,5 h.ha ⁻¹	471,9 MJ.h ⁻¹	2 595,50
Lubrificantes	5,5 h.ha ⁻¹	31,82 MJ.h ⁻¹	174,98
Manutenção das máquinas	5,5 h.ha ⁻¹	116,66 MJ.h ⁻¹	641,60
Energia sequestrada nas máquinas	5,5 h.ha ⁻¹	95,45 MJ.h ⁻¹	524,95
Sementes de colza	6 kg.ha ⁻¹	75,35 MJ.kg ⁻¹	452,10
Fertilizantes azotados (N)	170 kg.ha ⁻¹	55,30 MJ.kg ⁻¹	9 401
Fertilizantes fosfatados (P₂O₅)	100 kg.ha ⁻¹	11,40 MJ.kg ⁻¹	1 140
Fertilizantes potássicos (K₂O)	52 kg.ha ⁻¹	8,71 MJ.kg ⁻¹	452,92
Herbicidas	0,96 kg.ha ⁻¹	288 MJ.kg ⁻¹	276,48
Mão-de-obra	7,55 h.ha ⁻¹	1,20 MJ.h ⁻¹	9,06

Assim, obtemos uma quantidade total de energia consumida de 15 668,6 MJ.ha⁻¹ (*input* total).

O *output* total para uma produtividade de 1 500 kg.ha⁻¹ e um teor em óleo da semente de 40 % permanece igual a 22 200 MJ.ha⁻¹, como calculado anteriormente.

Determinação dos indicadores energéticos :

$$EE = 1,42$$

$$BE = 6\,531,4 \text{ MJ.ha}^{-1} \text{ ou } 0,16 \text{ tep.ha}^{-1}$$

É possível concluir que se evitou a exploração de 0,16 tep por unidade de área cultivada.

Simulação 3: Produtividade esperada de 1000 kg.ha⁻¹ mas em que se procede à actualização do consumo de combustível e à actualização da quantidade aplicada de fertilizante azotado:

Segundo o Instituto Nacional de Investigação Agrária (INIA, 2010), para uma produtividade esperada de 1 000 Kg.ha⁻¹ a quantidade de fertilizante azotado a aplicar é de 60 kg (referência obtida por consulta do Quadro 7). Apesar da penalização que se obtém na produtividade, decidiu-se ser muito importante a redução do impacto deste factor de produção nos consumos energéticos.

Nesta nova situação os *inputs* permanecem os mesmos da simulação 1, com excepção do *input* "combustível" que é de 2 595,5 MJ.ha⁻¹ (valor obtido na simulação 2) e o *input* "fertilização azotada" que por actualização é de 3 318 MJ.ha⁻¹ (manteve-se o coeficiente energético), como é possível constatar no Quadro 13.

Quadro 13 - Energia consumida por unidade de área para a simulação 3

Tipo de <i>input</i>	Quantidade	Coeficiente Energético	<i>Input</i> (MJ.ha ⁻¹)
Combustível	5,5 h.ha ⁻¹	471,9 MJ.h ⁻¹	2 595,50
Lubrificantes	5,5 h.ha ⁻¹	31,82 MJ.h ⁻¹	174,98
Manutenção das máquinas	5,5 h.ha ⁻¹	116,66 MJ.h ⁻¹	641,60
Energia sequestrada nas máquinas	5,5 h.ha ⁻¹	95,45 MJ.h ⁻¹	524,95
Sementes de colza	6 kg.ha ⁻¹	75,35 MJ.kg ⁻¹	452,10
Fertilizantes azotados (N)	60 kg.ha ⁻¹	55,30 MJ.kg ⁻¹	3 318
Fertilizantes fosfatados (P₂O₅)	100 kg.ha ⁻¹	11,40 MJ.kg ⁻¹	1 140
Fertilizantes potássicos (K₂O)	52 kg.ha ⁻¹	8,71 MJ.kg ⁻¹	452,92
Herbicidas	0,96 kg.ha ⁻¹	288 MJ.kg ⁻¹	276,48
Mão-de-obra	7,55 h.ha ⁻¹	1,20 MJ.h ⁻¹	9,06

Alcançamos assim um *input* total de 9 585,6 MJ.ha⁻¹.

Com base no teor em óleo da semente de colza (40 %) e para a produtividade esperada de 1 000 kg.ha⁻¹ é possível determinar a produção de biodiesel a partir do óleo presente na semente (400 kg.ha⁻¹).

De acordo com o Institut Français de Huiles Vegetables Pures (2010), o Poder Calorífico Inferior do biodiesel de colza é de 37 MJ.kg⁻¹.

Assim se obtém um *output* total de 14 800 MJ.ha⁻¹.

Determinação dos indicadores energéticos

$$EE = 1,54$$

$$BE = 5\,214,4 \text{ MJ.ha}^{-1} \text{ ou } 0,12 \text{ tep.ha}^{-1}$$

É possível concluir que se evitou a exploração de 0,12 tep por unidade de área cultivada.

No Quadro 14 apresenta-se os valores para as três situações atrás enunciadas.

Quadro 14 - Valores obtidos para os indicadores energéticos nas três situações estudadas

	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
Input total (1) (MJ.ha ⁻¹)	17 564,3	15 668,6	9 585,6
Output total (2) (MJ.ha ⁻¹)	22 200	22 200	14 800
EE = (2) / (1)	1,26	1,42	1,54
BE = (2) - (1) (MJ.ha ⁻¹)	4 635,7	6 531,4	5 214,4
BE = (2) - (1) (tep.ha ⁻¹)	0,11	0,16	0,12

Da análise dos indicadores energéticos apresentados no Quadro 14 é possível concluir que para as três situações, a colza cultivada em regime de sequeiro e de acordo com o itinerário técnico apresentado é interessante do ponto de vista energético.

Verifica-se que ao actualizar o consumo de combustível (simulação 2) se obtém um aumento sensível de eficiência energética e por conseguinte do rendimento energético. A mesma situação é verificada na simulação 3, onde actualizações no consumo de combustível e na quantidade de fertilização azotada levaram a um aumento da eficiência energética, apesar da penalização sofrida ao nível da produtividade.

De acordo com a eficiência energética, que nas três situações é superior à unidade, concluímos estar perante uma cultura que produz mais energia do que aquela que consome.

O balanço energético é favorável nas três simulações, o que reforça o carácter energético desta cultura de colza.

Estes valores apenas se referem aos *inputs* e *outputs* da etapa agrícola, não se podendo esquecer que vão ser ligeiramente agravados pelo consumo de energia na unidade transformadora. Por outro lado, também não se considerou o aproveitamento energético da palha, subproduto da etapa agrícola. De acordo com El Bassam (1996) o aproveitamento do óleo de colza para a produção de biodiesel apresenta uma eficiência energética de 5,5 incluindo o aproveitamento da palha e 2,9 sem considerar a palha.

O balanço mássico para o éster metílico de colza (Figura 4) apresentado por Neto (2001), permite-nos observar a importância quantitativa dos subprodutos da etapa agrícola e da etapa industrial.

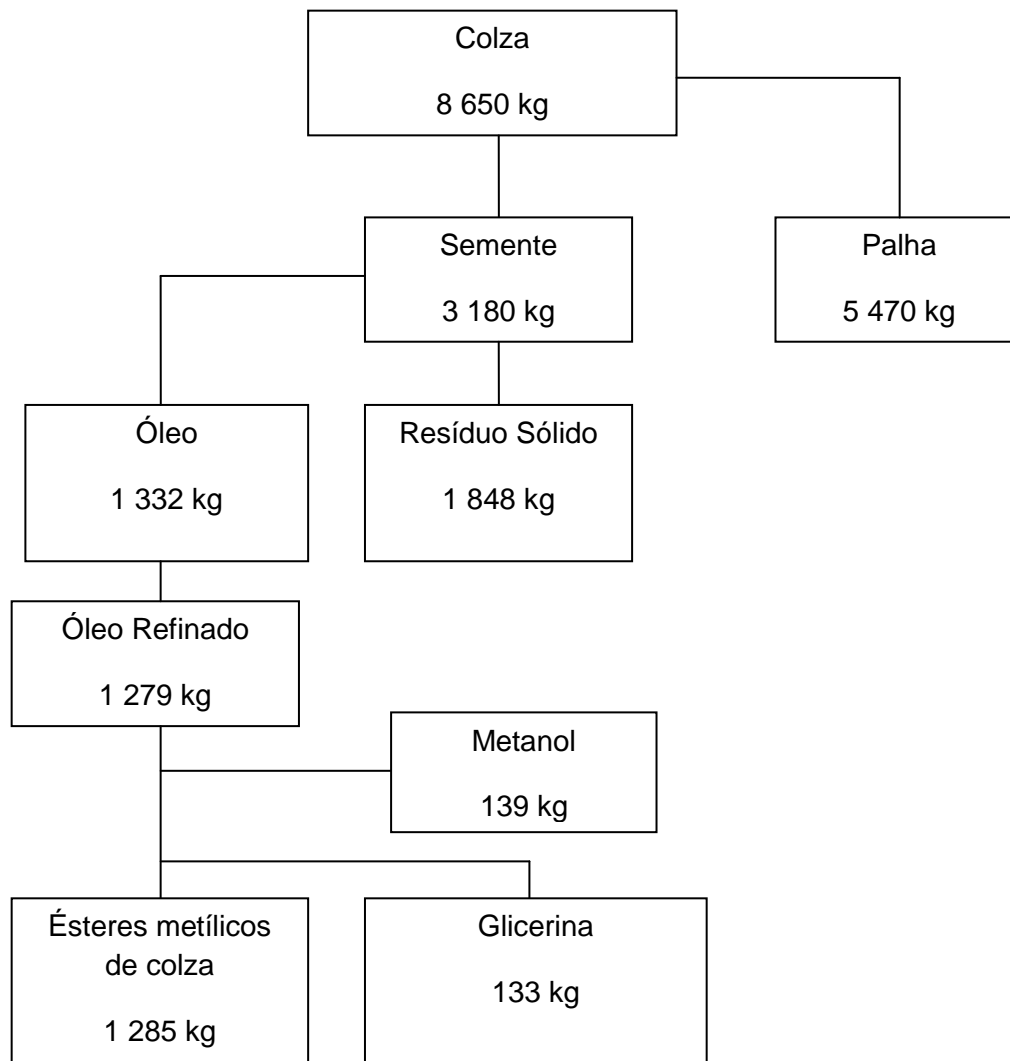


Figura 4 - Balanço mássico para o éster metílico de colza

Deste modo, vamos proceder ao estudo das três simulações anteriores considerando o aproveitamento energético da palha.

A simulação 4 foi realizada para as mesmas condições da simulação 1, adicionando-se ao *output* total mencionado no Quadro 14, a energia obtida com o aproveitamento da palha.

A simulação 5 foi realizada para mesmas condições da simulação 2, adicionando-se ao *output* total mencionado no Quadro 14, a energia obtida com o aproveitamento da palha.

A simulação 6 foi realizada para mesmas condições da simulação 3, adicionando-se ao *output* total mencionado no Quadro 14, a energia obtida com o aproveitamento da palha.

Cálculo da quantidade de energia obtida por hectare com o aproveitamento da palha:

A partir da informação contida em Neto (2001), calculamos o valor de $7,86 \text{ MJ.kg}^{-1}$ para o poder calorífico da palha.

Neto (2001) indica que o cultivo da colza possibilita dois tipos de produtos, a palha e a semente na proporção de 63 % e 37 % respectivamente.

Deste modo, para uma produtividade de $1\,500 \text{ kg.ha}^{-1}$ de semente (produtividade considerada na simulação 1 e 2), obtemos por proporção $2\,554 \text{ kg.ha}^{-1}$ de palha.

De modo análogo, para uma produtividade de $1\,000 \text{ kg.ha}^{-1}$ de semente (produtividade esperada na simulação 3), obtemos por proporção $1\,703 \text{ kg.ha}^{-1}$ de palha.

Os resultados obtidos encontram-se no Quadro 15 (página 56).

Quadro 15 - Resultados obtidos para os indicadores energéticos com aproveitamento da palha

	Simulação 4	Simulação 5	Simulação 6
Input total (1) (MJ.ha⁻¹)	17 564,3	15 668,6	9 585,6
Output total (2) (MJ.ha⁻¹)	42 274	42 274	28 186
EE = (2) / (1)	2,41	2,70	2,94
BE = (2) - (1) (MJ.ha⁻¹)	24 709,7	26 605,4	18 600,4
BE = (2) - (1) (tep.ha⁻¹)	0,59	0,63	0,44

Por comparação dos resultados presentes nos Quadros 14 e 15, registamos um aumento significativo nos dois parâmetros de estudo, a eficiência energética e o balanço energético. Sem dúvida que o aproveitamento da palha deve ser seriamente considerado do ponto de vista energético.

4. CONCLUSÕES

Da análise dos resultados obtidos para a eficiência energética e balanço energético da cultura da colza em regime de sequeiro e seguindo um itinerário técnico convencional, é possível concluir que se trata de uma cultura interessante do ponto de vista energético, por possibilitar uma produção de energia maior do que a aquela que consome.

Foi-nos igualmente possível identificar os factores de produção que têm maior peso no consumo de energia. Os factores de produção identificados foram o combustível e a fertilização azotada. Procedendo-se à sua actualização verificou-se um aumento sensível da eficiência energética e por conseguinte do rendimento energético.

Como referido, o cultivo da colza possibilita dois tipos de produtos, a palha e a semente na proporção de 63 % e 37 % respectivamente. Daqui se conclui que o interesse energético na produção de colza aumenta significativamente quando se procede ao aproveitamento da palha como biomassa energética.

Como exposto ao longo deste trabalho, a viabilidade de utilização das culturas energéticas para a transformação em biocombustíveis apenas fará sentido se estas forem garantidamente sustentáveis ao possibilitarem um balanço energético e ambiental positivo. Em termos energéticos os resultados obtidos neste trabalho sustentam a sua viabilidade. No entanto, esta temática inclui questões importantes para além das questões energéticas.

O uso de biocombustíveis funciona como um motor de desenvolvimento económico, social e tecnológico, contribuindo para garantir um preço estável da energia, menos sensível às flutuações do mercado dos combustíveis fósseis. Contribui igualmente para diminuir a dependência energética face ao exterior e promove o desenvolvimento regional através da criação de fileiras agrícolas, industriais e de investigação com a criação de empregos locais.

É imperativo reduzir o consumo de energia e satisfazer a procura com recurso a energias renováveis.

São necessárias mudanças de hábitos e de padrões de consumo.

São necessárias tecnologias mais eficientes na conversão e utilização da energia e tecnologias novas ou melhoradas para a utilização de fontes de energia alternativas.

O futuro passará certamente pelos biocombustíveis de 2ª geração e pela utilização das microalgas, no fundo, passa pelo recurso preferencial a matérias-primas que não concorram directamente com as destinadas à alimentação humana e animal, mais rentáveis do ponto de vista energético e que produzam melhores resultados em termos ambientais.

5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acaroglu, M.; Aksoy, A. (2005). The cultivation and energy balance of *Miscanthus x giganteus* production in Turkey. *Biomass & Bioenergy*, **29** (1): 42 – 48 (disponível in: www.sciencedirect.com).

Anónimo (2006). Biocombustível – à procura do petróleo verde. *Esporo*, 73: 4 - 5.

Anónimo (2008). Biocombustíveis de segunda geração em progresso. *Tecnologias do Ambiente*, 83: 6 - 8.

Avillez, F. (2005). Biocombustíveis. *Gazeta das Aldeias*, 3102: 4 – 6.

BASF (2010). Disponível in:

www.inorganics.basf.com/p02/CAPortal/en_GB/portal/Biodiesel_layout_b/content/Produktgruppen/Biodiesel/Informationen/Norm_EN. Acesso em: Maio, 2010.

Berthiaume, R., Bouchard, C.; Rosen, M. A. (2001). Exergetic evaluation of the renewability of a biofuel. *Exergy, An Internacional Journal*, **1** (4): 256 – 268 (disponível in: www.sciencedirect.com).

Campos, A. (2001). *Balanço energético relativo à produção de feno de "coast-cross" e alfafa em sistema intensivo de produção de leite*. Relatório da tese de doutoramento em Agronomia/Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 228 pp. (disponível in:

http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/bla/33004064021P7/2001/campos_at_dr_botfca.pdf).

Campos, A.; Saglieti, J; Bueno, O.; Campos, A.; Klosowski, E.; Gaspariano, E. (2004). Balanço energético na produção de feno de alfafa em sistema intensivo de produção de leite. *Ciência Rural*, **34** (1): 245 – 251.

Chang, D.; Gerpen, J.; Lee, I.; Johnson, L.; Hammond, E.; Marley S. (1996). Fuel properties and emissions of soybean oil esters as diesel fuel. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **73** (11): 1549 - 1555 (disponível in: www.aocs.org).

Clark, S.; Wagner, L.; Schrock, M.; Piennaar, P. (1984). Methyl and ethyl soybean esters as renewable fuels for diesel engines. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **61** (10): 1632 - 1638 (disponível in: www.aocs.org).

Coelho, J. (1987). A agricultura face ao problema energético. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, 42: 337 - 367.

Comitre, V. (1993). *Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto/SP*. Relatório da dissertação de mestrado em Engenharia Agrícola/Planejamento Agropecuário, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 152 pp. (disponível in: <http://cutter.unicamp.br/document/?code=vtls000081652fd=y>).

Dalgaard, T.; Halberg, N.; Porter, J. (2001). A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **87** (1): 51 – 65 (disponível in: www.sciencedirect.com).

Delgado, F. (2002). Valorização energética da biomassa, *Liberdade - Anais Científicos da Universidade Independente*, 1 (I Série): 21 - 31.

DGGE (2010). Disponível in: www.dgge.pt. Acesso em: Maio 2010.

EBB (2010). Disponível in: <http://www.ebb-eu.org/stats.php>. Acesso em: Junho de 2010.

El Bassam, N. (1996). *Renewable energy. Potential energy crops for Europe and the Mediterranean region*. FAO, REU Technical Series 46, Rome, 200 pp.

FAO (2010a). Disponível in: <ftp://ftp.fao.org/es/esn/food/bio-10t.pdf>. Acesso em: Junho de 2010.

FAO (2010b). Disponível in: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: Junho de 2010.

Fernando, A. (2007). Apontamentos da disciplina de “*Produção de Culturas Energéticas*”. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Ferreira, A. (2007). Portugal reforça meta das renováveis. *Água e Ambiente*, 100: 67 – 69.

Fluck, R.; Baird, C. (1980). *Agricultural energetics*. AVI, Westport, 192 pp.

Freedman, B.; Pryde, E.; Mounts, T. (1984). Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **61** (10): 1638 - 1643. Disponível in: www.aocs.org

Gazzoni, D.; Borges, J.; Ávila, M.; Felici, P. (2009). Balanço energético da cultura da canola para a produção de biodiesel. *Espaço Energia*, 11: 24 - 28.

Gomes, R. (2006). *Manual do biodiesel*. 1ª edição, Litexa Editora, Lisboa, 134 pp.

Gominho, J.; Pereira, H. (2008). *Biomassa e resíduos florestais*. Jornadas do Ambiente-Energia. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 12 - 13 de Março.

Gopalakrishnan, C. (1994). *The economics of energy in agriculture*. Avebury, England, 118 pp.

Green, M. (1987). Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: Helsen, Z. (Ed.), *Energy in plant nutrition and pest control*. Elsevier, Nova Iorque: 166 - 187 (cit. in Rathke & Diepenbrock, 2006).

Guerrero, A. (1999). *Cultivos herbáceos extensivos*. 6ª edição, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 831 pp.

Hülsbergen, K.-J.; Feil, B.; Biermann, S.; Rathke, G.-W.; Kalk, W.-D.; Diepenbrock, W. (2001). A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture Ecosystems Environment*, **86** (3): 303 - 321 (disponível in: www.sciencedirect.com).

Institut Français des Huiles Vegetables Pures (2010). Disponível in: http://www.uclm.es/area/amf/Antoine/Fusion/Informe_IFVP_fr.pdf. Acesso em: Agosto de 2010

INIA (2010). Disponível in: <http://www.inrb.pt/fotos/editor2/inia/3.pdf>. Acesso em: Junho de 2010.

Kalk, W.-D.; Biermann, S.; Hülsbergen, K.-J. (1995). *Standortund betriebsbezogene Energiebilanzen zur Charakterisierung der Landnutzungsintensität*. ATB-Berichte 10/95, Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (*cit. in* Hülsbergen et al., 2001).

Kaltschmitt, M.; Reinhardt, A. (1997). *Nachwachsende Energieträger. Grundlagen, Verfahren, Ökologische Bilanzierung*. Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden (*cit. in* Acaroglu & Aksoy, 2005).

Kazuhisa, M. (1996). *Renewable biological systems for alternative sustainable energy production*. FAO, FAO Agricultural Services Bulletin, Rome, 108 pp.

Lourenço, M.; Palma, P. (2006). *A cultura da colza. Aspectos da técnica cultural*. Universidade de Évora, Évora, 10 pp.

Lourenço, M.; Regato, J.; Dias, S.; Vivas, M.; Riscado, N. (2000). *Projecto PAMAF nº 1016 – Avaliação de culturas alternativas não alimentares*. Universidade de Évora, Escola Superior Agrária de Beja, Estação Nacional de Melhoramento de Plantas, Instituto Superior de Agronomia e Direcção Regional de Agricultura do Alentejo, Évora, 56 pp.

Ma, F.; Hanna, M. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70: 1- 15.

Madelon, J. (1999). *Potencial Production of Oil Crop*, Seminário – Biodiesel nos transportes. Lisboa, Março de 1999.

Mae-Wan Ho (2006). Biocombustíveis: biodevastação, fome e falsos créditos de carbono. (disponível in: <http://www.i-sis.org.uk/BiofuelsBiodevastationHunger.php>. Acesso em: Agosto de 2010.

MADRP (2010). Disponível in:

http://www.ifap.min_agricultura.pt/portal/page/portal/ifap_publico/GC_estatisticas/GC_DP2009. Acesso em: Junho de 2010.

Mendonça, E.; Carneiro, J. (1999). *Custo de execução das principais tarefas agrícolas (mão-de-obra e máquinas)*. MADRP, IHERA, Lisboa (*cit. in* Lourenço et al., 2000).

Mercier, J. (1978). *Energie et agriculture, le choix ecologique*. Debard, Paris, 187 pp. (*cit. in* Salla et al., 2010).

Miyamoto, K. (1997). *Renewable biological systems for alternative sustainable energy production*. FAO, Rome, 108 pp.

Nascimento, T. (2007). Investimento nas fábricas de biodiesel e bioetanol ascende a 658,9 milhões. *Água e Ambiente*, 109: 8 – 9.

Neto, F. (2001). *Biocombustíveis*. Forum "Energias renováveis em Portugal", ADENE/INETI, Lisboa, 117 pp.

Parmentier, J. (1996). Transformation of fats for non-alimentar applications. In: Karleskind, A. e Wolff, J.-P. (Eds.), *Oils and fats manual - A comprehensive treatise. Properties, production, applications*. Intercept Ltd., London **2**: 1043 - 1154.

Patrício, O. (2007). *Apontamentos da disciplina de Engenharia e Tecnologias Agrícolas*. Mestrado em Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

Patzek, T. (2004). Thermodynamics of the corn-ethanol biofuel cycle. *Plant Sciences*, **23** (6): 519 - 567 (disponível in: http://www.c4age.org/Economics_of_Ethanol/CRPS416-Patzek-Web_8.05.pdf).

Paulino, J. (2007). *As culturas energéticas no âmbito da Política Agrícola Nacional*, Seminário – Culturas energéticas, biomassa e biocombustíveis. Évora.

Pellizzi, G. (1992). Use of energy and labour in Italian agriculture. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 52: 111 - 119 (disponível in: www.sciencedirect.com).

Pimentel, D. (2003). Ethanol fuels: Energy balance, economics, and environmental impacts are negative. *Natural Resources and Research*, **12** (2): 127–134 (disponível in: <http://patty.wustl.edu/~anthro/articles/pimentel-ethanol.pdf>).

Rathke, G.; Diepenbrock, W. (2006). Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy*, **24** (1): 35 - 44 (disponível in: www.sciencedirect.com).

Reinhardt, G. (1993). Energie- und CO₂-Bilanzierung nachwachsender Rohstoffe. Vieweg Verlag Braunschweig/Wiesbaden (*cit. in* Hülsbergen *et al.*, 2001).

Russel, G.; Jarvis, P.; Monteith, J. (1990). Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: Russel, G.; Marshall, B.; Jarvis, P. (Eds.), *Plant Canopies: Their growth, form and function*. Cambridge University Press, London: 21 - 39.

Salla, D.; Furlaneto, F.; Cabello, C.; Kanthack, A. (2010). Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **14** (4): 444 - 448 (disponível in: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n4/v14n04a15.pdf>).

Santos, P. (1993). Os motores diesel na agricultura tropical - Combustíveis alternativos: álcool e óleos vegetais. *Comun. IICT, Sér. Ciênc. Agrárias*, 13: 287 - 307.

Serra, G. et al. (1979). *Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas*. Secretaria de Tecnologia Industrial, Brasília, 86 pp. (cit. in Campos et al., 2004).

Shapouri, H.; Duffield, J.; Wang, M. (2002). The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update. *Agricultural Economic Report*, 813: 1 - 16 (disponível in: <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/AF/265.pdf>).

Sonntag, N. (1982). Fat splitting, esterification and interesterification. In: Swern, D. (Ed.), *Bailey's Industrial oil and fat products*. John Wiley & Sons, New York, **2**: 97 - 173.

Staiss, C.; Pereira, H. (2002). O cultivo de plantas energéticas: novas alternativas de produção na agricultura portuguesa. *Vida Rural*, 1680: 24 - 28.

Staiss, C.; Pereira, H. (2001). Biomassa – energia renovável na agricultura e no sector florestal. *Agros*, 1: 21 - 30.

Varela, J. (2005). As bio-energias e a agricultura. Parte 2. O leque da energia. *Espaço Rural – CONFAGRI*, 49: 30 – 33.

Vermeersch, G. (1996). Main industrial use of fats. In: Karleskind, A. e Wolff, J.-P. (Eds.), *Oils and fats manual - A comprehensive treatise. Properties, production, applications*. Intercept Ltd., London **2**: 1433 - 1560.

Viana, H. (2003). Culturas energéticas. Enquadramento e oportunidades. *Revista do agricultor*, 177: 20 – 33.

Vieira, A. (1997). Utilização de óleos vegetais em motores Diesel, *Energia - Revista de economia e gestão de energia na indústria*, **1** (II Série): 35 - 40.

Wang, M.; Saricks, C.; Wu, M. (1997). *Fuel-cycle fossil energy use and greenhouse gas emissions of fuel ethanol produced from U.S. Midwest corn*. Illinois Department of Commerce and Community Affairs, Illinois, 58 pp. (disponível in: <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/141.pdf>).

LEGISLAÇÃO CONSULTADA

[1] Directiva 2003/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 8 de Maio *in* Jornal Oficial da União Europeia nº 123 (série L): 42 – 46.

[2] Decreto-Lei nº 62/2006 de 21 de Março *in* Diário da República nº 57 (1ª série – A): 2050 - 2053.

[3] Resolução do Conselho de Ministros nº 21/2008 de 5 de Fevereiro *in* Diário da República nº 25 (1º série): 907 – 908.

[4] Decreto-Lei nº 71/2006 de 24 de Março *in* Diário da República nº 60 (1ª série – A): 2209 - 2210.

[5] Resolução do Conselho de Ministros nº 53/2005 de 3 de Março *in* Diário da República nº 44 (1ª série – B): 1910 - 1927.

[6] Decreto nº 7/2002 de 25 de Março *in* Diário da República nº 71 (1ª série – A): 2816 - 2836.

[7] Regulamento (CE) nº 1782/2003 do Conselho de 29 de Setembro *in* Jornal Oficial da União Europeia nº 270 (série L): 1 – 69.

[8] Regulamento (CE) nº 73/2009 do Conselho de 19 de Janeiro *in* Jornal Oficial da União Europeia nº 30 (série L): 16 – 99.

[9] Decreto-Lei nº 66/2006 de 22 de Março *in* Diário da República nº 58 (1ª série – A): 2079 – 2081.

[10] Portaria nº 1554-A/2007 de 7 de Dezembro *in* Diário da República nº 236 (1ª série): 8820 (2) - 8820 (7).

[11] Decreto-Lei nº 89/2008 de 30 de Maio *in* Diário da República nº 104 (1º série): 3072 – 3080.

[12] Portaria nº 752/88 de 23 de Novembro *in* Diário da República nº 271 (1ª série): 4673 - 4679.

ANEXOS

Anexo I - Lista de produtos considerados combustíveis, de acordo com o Decreto-Lei nº 62/2006 de 21 de Março [5], que transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva 2003/30/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 8 de Maio [3]

- a) Bioetanol: etanol produzido a partir de biomassa e/ou da fracção biodegradável de resíduos para utilização como biocombustível;
- b) Biodiesel: éster metílico produzido a partir de óleos vegetais ou animais, com qualidade de combustível para motores diesel, para utilização como biocombustível;
- c) Biogás: gás combustível produzido a partir de biomassa e/ou da fracção biodegradável de resíduos, que pode ser purificado até à qualidade do gás natural, para utilização como biocombustível, ou gás de madeira;
- d) Biometanol: metanol produzido a partir de biomassa para utilização como biocombustível;
- e) Bioéter dimetílico: éter dimetílico produzido a partir de biomassa para utilização como biocombustível;
- f) Bio-ETBE (bioéter etil-ter-butílico): ETBE produzido a partir do bioetanol, sendo a percentagem volumétrica de bio-ETBE considerada como biocombustível de 47 %;
- g) Bio-MTBE (bioéter etil-ter-metílico): combustível produzido com base no biometanol, sendo a percentagem volumétrica de bio-MTBE considerada como biocombustível de 36 %;
- h) Biocombustíveis sintéticos: hidrocarbonetos sintéticos ou misturas de hidrocarbonetos sintéticos produzidos a partir de biomassa;
- i) Biohidrogénio: hidrogénio produzido a partir de biomassa e/ou da fracção biodegradável de resíduos para utilização como biocombustível;
- j) Óleo vegetal puro produzido a partir de plantas oleaginosas: óleo produzido por pressão, extracção ou métodos comparáveis, a partir de plantas oleaginosas, em bruto ou refinado, mas quimicamente inalterado, quando a sua utilização for compatível com o tipo de motores e os respectivos requisitos relativos a emissões.

Anexo II - Especificações a que deve obedecer o gasóleo destinado ao mercado interno nacional, de acordo com o Decreto-Lei nº 89/2008 [2]

Características	Unidade	Limites		Métodos de ensaio (1)
		Mínimo	Máximo	
Índice de cetano (2)		51,00	-	EN ISO 5165
Índice de cetano calculado		46,00	-	EN ISO 4264
Massa volúmica a 15°C (3)	kg/m ³	820	845	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	2,00	4,50	EN ISO 3104
Destilação (4) (5)				EN ISO 3405
Recuperado a 250°C	% v/v	-	65	
Recuperado a 350°C	% v/v	85	-	
95% de recuperado	°C	-	360	
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (6)	% m/m	-	11	EN 12916
Teor de enxofre (7)	mg/kg	-	50	EN ISO 20846 EN ISO 20847 EN ISO 20884 EN ISO 20846 - (8) 10 EN ISO 20884
Temperatura limite de filtrabilidade				EN 116
De 1 de Abril a 14 de Outubro	°C	-	0	
De 1 de Março a 31 de Março	°C	-	-5	
De 15 de Outubro a 30 de Novembro	°C	-	-5	
De 1 de Dezembro a 28/29 Fevereiro	°C	-	-10	
Ponto de inflamação	°C	55	-	EN ISO 2719
Resíduo carbonoso (9)	% m/m	-	0,30	EN ISO 10370
Teor de cinzas	% m/m	-	0,01	EN ISO 6245
Teor de água	mg/kg	-	200	EN ISO 12937 (10)
Contaminação total	mg/kg	-	24	EN 12662
Corrosão da lâmina de cobre (3 h a 50°C)		Classe 1		EN ISO 2160
Estabilidade à oxidação	g/m ³	-	25	EN ISO 12205
Lubrificidade (11)	γM	-	460	ISO 12156-1
FAME (12) (13)	% v/v	-	5	EN 12078

Legenda:

- (1) Todos os métodos de ensaio indicados incluem uma referência quanto à sua precisão. Em caso de disputa, os procedimentos a seguir para a sua resolução e para interpretação dos resultados baseados na precisão do método de ensaio devem seguir o estipulado na EN ISO 4259.
- (2) Para a determinação do índice de cetano e em caso de disputa, podem ser utilizados métodos alternativos desde que sejam reconhecidos e que tenham um critério de precisão válido, de acordo com a EN ISO 4259, e que demonstrem uma precisão pelo menos igual à do método de referência. Ao se utilizar um método de referência alternativo, deve haver uma correlação entre os seus resultados e os obtidos pelo método de referência.
- (3) Em caso de conflito deve ser usado o método descrito na EN ISO 3675.
- (4) Para a determinação do índice de cetano calculado também são necessários os pontos 10 %, 50 % e 90 % (V/V) de recuperado.
- (5) Os limites de destilação a 250°C e 350°C são incluídos para o gasóleo de acordo com a E.U. Common Customs Tariff.
- (6) Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos são definidos como o teor total de hidrocarbonetos aromáticos diminuído do teor de hidrocarbonetos mono -aromáticos, ambos determinados pelo método EN 12 916.
- (7) Em caso de litígio referente ao teor de enxofre, o método descrito na EN ISO 20847 não é adequado como método de referência.
- (8) Nos termos do n.º 5 do artigo 7.º, deve ser comercializado e disponibilizado no território nacional, numa base geográfica apropriada, combustível para motores de ignição por compressão com um teor máximo de enxofre de 10 mg/kg. A partir de 1 de Janeiro de 2009, todo o combustível para motores de ignição por compressão comercializado no País deve ter um teor máximo de enxofre inferior a 10 mg/kg.
- (9) O valor limite do resíduo carbonoso refere -se a um produto isento de aditivo do índice de cetano. Se o gasóleo a comercializar tiver um valor superior a esse limite, deve ser comprovado pelo método ISO EN 13759 a presença de nitrato. Ao se provar, deste modo, a presença de um aditivo melhorador do índice de cetano, o valor limite do resíduo carbonoso do produto ensaiado não pode ser tido em conta. O uso de aditivos não isenta o fabricante de se submeter a um valor máximo de 0,30 % m/m de resíduo carbonoso, antes da aditivação. Medido no resíduo a 10% da destilação.
- (10) Tendo sido detectada uma incompatibilidade entre as normas EN 590 e EN ISO 12937, relativa à expressão dos resultados e apresentada esta questão ao CEN/TC 19, foi por este decidida uma alteração à norma EN 590, de forma a esta alinhar com a norma de ensaio. Assim, quando os resultados são expressos em % (m/m) o valor limite é 0,020 % (m/m).
- (11) Diâmetro corrigido da marca de desgaste (dmd 1,4) a 60 °C.
- (12) O FAME tem de respeitar os requisitos da EN 14214.
- (13) A partir de 1 de Julho de 2008, o gasóleo colorido e marcado, em vez de um teor máximo de 5 % de FAME terá um teor de biocombustíveis mínimo de 5 % e máximo de 10 %.

Anexo III - Especificações a que deve obedecer o biodiesel no espaço comunitário de acordo com a norma EN 14214, adaptado de BASF (2010):

Propriedade	Unidade	Valor
Teor em ésteres	% (m/m)	$\geq 96,5$
Massa volúmica a 15°C	kg.m ⁻³	860 - 900
Viscosidade cinemática a 40°C	mm ² .s ⁻¹	3,5 - 5,0
Ponto de ignição	°C	≥ 120
Teor em enxofre	mg.kg ⁻¹	$\leq 10,0$
Resíduo carbonoso (10%)	% (m/m)	$\leq 0,3$
Índice de cetano	-	≥ 51
Teor em cinzas	% (m/m)	$\leq 0,02$
Teor em água	mg.kg ⁻¹	≤ 500
Corrosão ao cobre (3h a 50°C)	-	$\geq 1,0$
Estabilidade à oxidação (110°C)	h	$\geq 6,0$
Índice de iodo	-	≤ 120
Teor em metanol	% (m/m)	$\leq 0,20$
Glicerol total	% (m/m)	$\leq 0,25$

Anexo IV - Conta de cultura da colza (Lourenço *et al.*, 2000)

Operação	Equipamento	Data média da operação	Mão-de-obra		Tracção		Consumos intermédios
			Horas	Euros	Horas	Euros	
Mobilização principal sem reviramento da leiva	Tractor 120 HP + Chisel 9 braços	Setembro/ Outubro	0,3	1,87	0,3	4,13	
Escarificação	Tractor 120 HP + Escarificador 15 braços	Outubro/ Novembro	0,6	3,73	0,6	6,95	
Aplicação de herbicida	Tractor 80 HP + Pulverizador 600 L	Outubro/ Novembro	0,6	3,73	0,6	5,94	Triflurex 2,0 L (doseia 480g.L ⁻¹ de trifluralina)
Gradagem	Tractor 120 HP + Grade 24 discos 24 "	Outubro/ Novembro	0,6	3,73	0,6	7,71	
Transporte de adubo e semente	Tractor 80 HP + Reboque 10,5 ton	Outubro/ Novembro	0,1+0,2	0,62+0,75	0,1	1,25	
Sementeira e adubação de fundo	Tractor 80 HP + Semeador fertilizador (3m)	Outubro/ Novembro	0,6+0,6	3,73+2,24	0,6	6,05	6 kg semente 400 kg Fertifos 10:25:13
Rolagem	Tractor 80 HP + 1 rolo de 3 m	Outubro/ Novembro	0,4	2,49	0,4	2,94	
Transporte de adubo	Tractor 80 HP + Reboque 10,5 ton	Dezembro/ Janeiro	0,1+0,2	0,62+0,75	0,1	1,25	
1ª Adubação de cobertura	Tractor 80 HP + Distribuidor centrífugo 600 L	Dezembro/ Janeiro	0,4+0,4	2,49+1,50	0,4	3,23	250 kg Nitrolusal 26%
Transporte de adubo	Tractor 80 HP + Reboque 10,5 ton	Fevereiro	0,1+0,2	0,62+0,75	0,1	1,25	
2ª Adubação de cobertura	Tractor 80 HP + Distribuidor centrífugo 600 L	Fevereiro	0,4+0,4	2,49+1,50	0,4	3,23	250 kg Nitrolusal 26%
Colheita	Ceifeira debulhadora para trigo, modelo 120	Maio	1,2	7,46	1,2	39,88	
Transporte de grão	Tractor 120 HP + Reboque 10,5 ton	Maio	0,15	0,93	0,15	1,88	
Total			7,55	42,00	5,55	85,69	

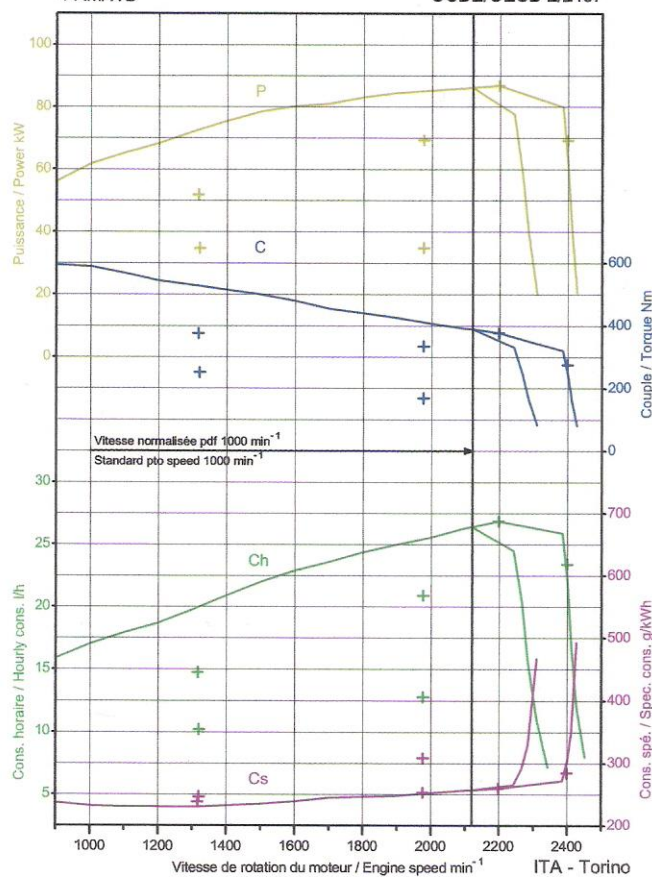
Anexo V – Boletim de ensaio do tractor marca Case IH, modelo Maxxum 125X



OECD approval number 2/2 487
OECD approval date 25/06/2009
Make Case IH
Model Maxxum 125X
Type 4 WD
 BEEC7B - 16 speeds - semi-powershift - 40 km/h
Manufacturer: CNH Europe Holding S.A.
Testing station: IMAMOTER, Torino, Italy

Case IH Maxxum 125X
4 RM/WD

OCDE/OECD 2/2487



Consiglio Nazionale delle Ricerche
IMAMOTER
 Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra

Engine, Transmission, Power take-off Specifications

<i>Make, Model</i>	CNH	667TA/MEK
<i>Type, Supercharging</i>	Direct injection	Yes
<i>Cylinders, Disposition</i>	6	vertical in line
<i>Capacity, Cooling</i>	6728 cm ³	Liquid
<i>Gear box</i>		Mechanical powershift
<i>Number of forward and reverse speeds</i>		16 16
<i>Speed at rated engine speed</i>		from 2.27 to 38.14 km/h
<u>Standard Power take-off speed</u>		<u>540 min⁻¹</u> <u>1000 min⁻¹</u>
<i>Power take-off speed at rated engine speed</i>		603 min ⁻¹ 1038 min ⁻¹
<i>Diameter of the shaft</i>		35 mm 35 mm
<i>Number of splines</i>		6 21

Power take-off TestTwo hours test at maximum power

<i>Power, Engine and Power take-off speed</i>	86.9 kW	2197 min ⁻¹	1037 min ⁻¹
<i>Hourly and specific consumption</i>		26.87 l/h	260 g/kWh

Test at maximum power at rated engine speed

<i>Power, Engine and Power take-off speed</i>	86.9 kW	2197 min ⁻¹	1037 min ⁻¹
<i>Hourly and specific consumption</i>		26.87 l/h	260 g/kWh

Test at standard Power take-off speed

<i>Power, Engine and Power take-off speed</i>	86.3 kW	2119 min ⁻¹	1000 min ⁻¹
<i>Hourly and specific consumption</i>		26.42 l/h	257 g/kWh

Torque rise

57.9 %

Maximum torque, Engine speed corresponding596.0 Nm 903 min⁻¹**Drawbar Test***Front tyres, Rear tyres*

480/65 R 28 600/65 R 38

Test with tractorunballasted ballasted*Total Mass*

5215 kg

Maximum drawbar pull

50.1 kN

Not

at speed of

2.16 km/h

required

Maximum power

78.5 kW

at speed of

8.96 km/h

Hydraulic Performance and Power Lift Test*Hydraulic system*

Closed centre

At maximum hydraulic power*Flow rate, Pressure, Power (couplers: 1 pair)* 98.7 l/min 17.0 MPa 28.0 kW*Flow rate, Pressure, Power (couplers: 2 pairs or +)* 103.0 l/min 18.0 MPa 30.9 kWMaximum lifting force*at the hitch points, at frame*

34.3 kN 30.3 kN



Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra